

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

En vista de la obtención del grado de

LICENCIATURA EN ODONTOLOGÍA

Otorgado por

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Presentado y defendido por:

María Alejandra Jiménez Méndez

Diego José Pacheco Vega

Nicole Ramírez Rodríguez

El día

15 de diciembre, 2021

Efecto de tratamientos de superficie en la adhesión de materiales cerámicos y resinosos CAD/CAM con agentes cementados y su relación con la energía libre de superficie.

Comité Asesor

Fabián Murillo Gómez (Director)

Daniel Chavarría Bolaños (Asesor)

Mauricio Montero Aguilar (Asesor)

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio Brenes, San José, Costa Rica



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA SEDE RODRIGO FACIO BRENES FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Acta de Defensa Pública, modalidad Seminario de Graduación

Se informa que la estudiante Jiménez Méndez María Alejandra, carné No. B23477, postulante a obtener el grado de Licenciatura en Odontología, ha realizado la Defensa Pública de su Trabajo Final de Investigación titulado: "Efecto de tratamientos de superficie en la adhesión de materiales cerámicos y resinosos CAD/CAM con agentes cementantes y su relación con la energía libre de superficie" el día 15 de diciembre de 2021.

El resultado de dicha defensa fue:

Aprobado X

No aprobado _____

Se le concede aprobación con distinción _____

Nombre	Firma	No. Cédula
Jiménez Méndez María Alejandra Sustentante		207290998
TRIBUNAL EXAMINADOR		
Dr. Fabián Murillo Gómez Director		1-1307-0372
Dr. Daniel Chavarría Bolaños Asesor		1-1142-0889
Dr. Mauricio Montero Aguilar Asesor		109900997
Dra. Gina Murillo Knudsen Representante Externa		105100332
Dr. Carlos Filloy Esna Decano		103901020



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE RODRIGO FACIO BRENES
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Acta de Defensa Pública, modalidad Seminario de Graduación

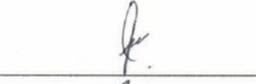
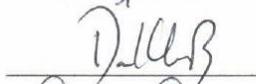
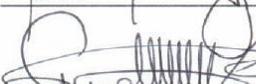
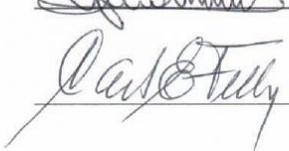
Se informa que la estudiante **Pacheco Vega Diego José**, carné No. **B35096**, postulante a obtener el grado de Licenciatura en Odontología, ha realizado la Defensa Pública de su Trabajo Final de Investigación titulado: *"Efecto de tratamientos de superficie en la adhesión de materiales cerámicos y resinosos CAD/CAM con agentes cementantes y su relación con la energía libre de superficie"* el día **15 de diciembre** de 2021.

El resultado de dicha defensa fue:

Aprobado X

No aprobado

Se le concede aprobación con distinción

Nombre	Firma	No. Cédula
Pacheco Vega Diego José Sustentante		<u>116110053</u>
TRIBUNAL EXAMINADOR		
Dr. Fabián Murillo Gómez Director		<u>1-1307-0372</u>
Dr. Daniel Chavarría Bolaños Asesor		<u>1-1142-0889</u>
Dr. Mauricio Montero Aguilar Asesor		<u>109900997</u>
Dra. Gina Murillo Knudsen Representante Externa		<u>105100332</u>
Dr. Carlos Filloy Esna Decano		<u>103901020</u>



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA SEDE RODRIGO FACIO BRENES FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Acta de Defensa Pública, modalidad Seminario de Graduación

Se informa que la estudiante Ramírez Rodríguez Nicole Paulina, carné No. B45666, postulante a obtener el grado de Licenciatura en Odontología, ha realizado la Defensa Pública de su Trabajo Final de Investigación titulado: "Efecto de tratamientos de superficie en la adhesión de materiales cerámicos y resinosos CAD/CAM con agentes cementantes y su relación con la energía libre de superficie" el día 15 de diciembre de 2021.

El resultado de dicha defensa fue:

Aprobado

No aprobado

Se le concede aprobación con distinción

Nombre	Firma	No. Cédula
Ramírez Rodríguez Nicole Paulina Sustentante		304890151
TRIBUNAL EXAMINADOR		
Dr. Fabián Murillo Gómez Director		1-1307-0372
Dr. Daniel Chavarría Bolaños Asesor		1-1142-0889
Dr. Mauricio Montero Aguilar Asesor		109900997
Dra. Gina Murillo Knudsen Representante Externa		105100332
Dr. Carlos Filloy Esna Decano		103901020



DEDICATORIA

Este proyecto final de graduación está dedicado a nuestros familiares, quienes durante toda la carrera nos han apoyado en los momentos difíciles y han compartido nuestras alegrías en los momentos felices. Ellos, quienes son los seres más importantes en nuestras vidas, los que nos brindaron las bases para crecer hasta ser lo que somos hoy, por eso queremos dedicarles este trabajo como muestra de afecto y agradecimiento por todo el esfuerzo y sacrificios que tuvieron que hacer a lo largo de estos años para vernos culminar esta meta.



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no se hubiera logrado sin el apoyo, la coordinación y dirección del Dr. Fabián Murillo, quien siempre tuvo la gran disposición de ayudar, enseñar y guiarnos durante todo el proyecto, además de brindarnos las herramientas necesarias para el estudio.

Agradecemos la cooperación del Dr. Daniel Chavarría, quien en conjunto al Dr. Fabián Murillo, permitieron el acercamiento al LANOTEC, donde se realizaron las pruebas en el microscopio electrónico de barrido (SEM) y las pruebas de ángulo de contacto en el goniómetro, permitiendo, de esa forma, los resultados de este estudio.

De igual forma, un especial agradecimiento, al Dr. Mauricio Montero, por toda la ayuda brindada a la hora de realizar el análisis de ángulos de contacto de las muestras.

Además, le agradecemos a la Dra. Laura Fernández de la empresa Coltene de Costa Rica, por donarnos los materiales de esa marca para el estudio.



HOJA DE REVISIÓN POR EL (LA) FILÓLOGO(A)

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

San José, 28 de noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA LICENCIATURA EN ODONTOLOGÍA

Estimados Señores:

Hago constar que leí y corregí, en calidad de filóloga, el Trabajo Final de Graduación denominado: "Efecto de diferentes tratamientos de superficie en la resistencia adhesiva de diferentes materiales cerámicos y resinosos CAD/CAM con un cemento resinoso y su relación con la energía libre de superficie", el cual fue elaborado por los estudiantes: **María Alejandra Jiménez Méndez, Diego José Pacheco Vega y Nicole Ramírez Rodríguez**, para optar por el grado académico de LICENCIATURA EN ODONTOLOGÍA.

Corregí el trabajo en aspectos concernientes con la estructura gramatical (morfología y sintaxis), construcción de párrafos y vicios del lenguaje, que se trasladaban al escrito; así como ortografía, puntuación y otros aspectos relacionados con el campo filológico.

He comprobado que las correcciones hechas por mi persona han sido incorporadas al documento en mención, por lo que, hago constar que cuenta con una correcta estructura para ser entendido por quien lo leyere, por cuanto reúne las condiciones de un documento con valor filológico para ser presentado ante las autoridades de la Universidad.

Suscribe cordialmente,

Tania González-Pérez
Filóloga Clásica- UCR
Incorporada al COLYPRO
Carné N° 023429
thaniagonzalezperez@gmail.com



Tabla de contenido

LISTA DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS	10
RESUMEN EN ESPAÑOL	11
ABSTRACT	13
PREFACIO	15
MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL	17
Capítulo 1. Materiales para restauraciones indirectas y su evolución	17
Capítulo 2. Materiales CAD CAM, características y usos	22
2.1 Disilicato de litio	23
2.2 Silicato de Litio reforzado con Zirconia	25
2.3 Resina Compuesta nanoparticulada para CAD/CAM	26
2.4 Cerámica con matriz resinosa (Nanocerámicas)	27
Capítulo 3. Adhesión en materiales CAD/CAM	29
3.1 Protocolos en Cerámicas Vítreas	29
3.2 Protocolos en Materiales Resinosos	31
RESUMEN/ABSTRACT	35
I. ABSTRACT	37
INTRODUCCIÓN	38
METODOLOGÍA	41
RESULTADOS	43
Resistencia adhesiva	43
Figuras del ángulo de contacto	55
DISCUSIÓN	58
CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS	71



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de la varianza de los datos de resistencia adhesiva de los materiales cerámicos.	43
Tabla 2. Valores promedio, desviación estándar (paréntesis) y fallas “pre-test” (ptf) relativos a la resistencia adhesiva (MPa) por microcizalla entre los materiales cerámicos y un cemento resinoso.....	44
Tabla 3. Análisis de la varianza de los datos de resistencia adhesiva de los materiales resinosos.....	45
Tabla 4. Valores promedio, desviación estándar (paréntesis) y fallas “pre-test” (ptf) relativos a la resistencia adhesiva (MPa) por microcizalla entre los materiales resinoso y una resina fluida.	46
Tabla 5. Análisis de la varianza de los datos de goniometría para el disilicato de litio (Emax-DL).....	50
Tabla 6. Valores promedio y desviación estándar (paréntesis) de los valores de ángulo de contacto para el material disilicato de litio (Emax -DL).	50
Tabla 7. Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para los factores de estudio con los datos de ángulo de contacto del material silicato de litio reforzado con zirconio (Vita Suprinity- ZLS).....	51
Tabla 8. Mediana, valor mínimo y máximo de los datos de ángulo de contacto para el material silicato de litio reforzado con zirconio (Vita Suprinity-SLZ).	51
Tabla 9. Análisis de la varianza de los datos de goniometría para el material resinoso Crios (BC).	52
Tabla 10. Valores promedio y desviación estándar (paréntesis) de los valores de ángulo de contacto para el material resinoso Crios (BC).	53
Tabla 11. Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para los factores de estudio con los datos de ángulo de contacto del material Lava (LAV).	54
Tabla 12. Mediana, valor mínimo y máximo de los datos de ángulo de contacto para el material Lava (LAV).	54



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción general del sistema de clasificación propuesto para todos los materiales cerámicos y similares a la cerámica.	18
Figura 2. Morfología de superficie de la cerámica SLZ (Vita Suprinity) y DL (E.max CAD) tratada con los distintos protocolos de grabado a 5000X.	48
Figura 3. Morfología de superficie de los materiales resinosos: Lava Ultimate y Crios a 500x y 2000x. a) control, b) arenado.	49
Figura 4. Imágenes del ángulo de contacto, registrados durante la prueba de gooniometría en la cerámica de silicato de litio reforzada con zirconio(Vita Suprinity-SLZ) antes y después de la aplicación del silano.	55
Figura 5. Imágenes del ángulo de contacto, registrados durante la prueba de gooniometría en la cerámica disilicato de litio (E.max CAD-DL) antes y después de la aplicación del silano.	56
Figura 6. Imágenes del ángulo de contacto, registrados durante la prueba de gooniometría en la cerámica en los materiales resinosos: CRIOS y la nanocerámica LAVA, antes y después de arenar, y colocar los sistemas adhesivos (HB y SB)	57
Figura 7. Imágenes resultantes del análisis de la interfaz de unión disilicato de litio (IPS e.max Press-DL).	71



LISTA DE ABREVIATURAS

A: Arenado

AU: arenado y adhesivo universal

AN: Arenado sin adhesivo

BC: Brilliant Crios

C: Control

CU: control y adhesivo universal

CAD/CAM: Diseño asistido por computadora/Manufactura asistida por computadora

DL: Disilicato de litio (E.max)

HB: Adhesivo Heliobond

HF: Ácido Fluorhídrico

LAV: Lava ultimate

MEB: Microscopio electrónico de barrido

N: sin adhesivo

PTF: Pre-test

S: Silano

SA: Sin arenado

SB: Adhesivo Single bond (Adhesivo Universal)

SLZ: Silicato de litio reforzado con zirconia (Vita Suprinity)



RESUMEN EN ESPAÑOL

Objetivo

Evaluar la influencia de diferentes tratamientos de superficie en el desempeño adhesivo de diferentes materiales cerámicos y resinosos para CAD/CA unidos a materiales resinosos.

Metodología

Para los materiales cerámicos, disilicato de litio (DL) y silicato de litio reforzado con zirconia (SLZ) se confeccionaron muestras rectangulares y se dividieron en cinco grupos de tratamiento (n=15): Control, HF (ácido fluorhídrico) 5%20s, HF5%60s, HF10%20s y HF10%60s. Para los materiales resinosos se confeccionaron, igualmente, muestras rectangulares divididas en seis grupos de tratamiento: Control, arenado, SA (sin arenado)+SB (adhesivo universal), A (arenado)+SB, SA+HB (Adhesivo no simplificado hidrofóbico) y A+HB. Se evaluó la resistencia adhesiva por microcizalla entre los materiales tratados y materiales resinosos. Los materiales fueron evaluados morfológicamente con un microscopio electrónico de barrio (MEB), posteriormente, se midió su ángulo de contacto/energía libre de superficie con ayuda de un goniómetro antes y después de la colocación del silano en las cerámicas y del adhesivo en las resinas. Los datos fueron analizados estadísticamente con las pruebas de ANOVA, Kruskal-Wallis y Tukey ($\alpha=0.05$).

Resultados

Se reveló que los valores de ZLS fueron significativamente mayores que los presentados por el DL ($p<0.05$). En cuanto a los protocolos adhesivos, se observó que el grupo HF10%20s obtuvo los resultados mayores para ambas cerámicas. Se reveló que, en los grupos de resina, los que recibieron arenado presentaron mayores valores de resistencia adhesiva que los no arenados ($p<0.05$). Además, se observó que los grupos tratados con sistema adhesivo (SB y HB) obtuvieron resultados mayores que los no tratados con adhesivo. De igual manera en la prueba de goniometría se vio que el ángulo de contacto de solo los grupos tratados con HF5%, no mostraron diferencia estadísticamente significativa después de tratados con silano, respecto a los valores iniciales. Se observó en la comparación entre los grupos tratados con silano, que las únicas diferencias significativas se presentaron entre los grupos tratados por



20s con HF y el grupo HF5%60s. En el caso de todos los grupos del SLZ los resultados de los valores de ángulo de contacto fueron significativamente mayores después de haber sido silanizados y finalmente, para ambas resinas, los resultados de ángulo de contacto de los grupos antes de colocar el adhesivo fueron significativamente mayores.

Conclusión

Los grupos del silicato de litio reforzado con zirconia mostraron una mayor resistencia adhesiva. Además, los grupos tratados con ácido fluorhídrico al 5% y al 10% por 20s fueron los que evidenciaron mejor resistencia adhesiva en general. Ambos materiales resinosos mostraron un rendimiento adhesivo similar; y se demostró los grupos tratados con arenado y adhesivo presentaron una mayor resistencia adhesiva. En cuanto al ángulo de contacto, se observó que los grupos tratados con HF5% en el DL mostraron superficies más hidrofóbicas. De la misma forma, los grupos del SLZ presentaron superficies más hidrofóbicas, después de haber sido silanizados y en el caso de las resinas compuestas, la aplicación de un sistema adhesivo mostró superficies más hidrofílicas y, por lo tanto, mayor energía de superficie para atraer soluciones acuosas.

Palabras clave: Energía de superficie, adhesión, CAD/CAM, resinas, cerámicas, microscopía electrónica de barrido.



ABSTRACT

Objective

The present study was conducted to evaluate the influence of different surface treatments on the adhesive performance of different ceramic and composite CAD/CAM materials for to resin-based luting materials.

Methods

For ceramic materials, lithium disilicate (DL) and zirconia reinforced lithium silicate (ZLS), rectangular samples were made and divided into five treatment groups (n=15): Control, HF5%20s, HF5%60s, HF10%20s and HF10%60s. For the composite materials, six treatment groups were made up: Control, sandblasted, SA (without sandblasting) +SB (universal adhesive), A (sandblasted) +SB (universal adhesive), SA (without sandblasting) +HB (hydrophobic adhesive non simplified) and A+HB. The micro-shear bond strength between the treated and resin-based luting materials was evaluated. Furthermore, the materials were evaluated morphologically with a scanning electron microscope (SEM), then their contact angle/surface free energy was measured with the aid of a goniometer before and after placement of silane on the ceramics and adhesive on the composite materials. The data were statistically analyzed with ANOVA and Tukey tests ($\alpha= 0.05$).

Results

It was revealed that the values of ZLS were significantly higher than those presented by DL ceramic ($p<0.05$). As for the adhesive protocols, it was observed that the HF10%20s groups obtained the highest results for both ceramics. Regarding CAD/CAM composites' groups it was revealed that those that received sandblasting presented higher bond strength values than those not sandblasted ($p<0.05$). The groups treated with adhesive systems (SB and HB) obtained higher results than those not treated with adhesives. Regarding the contact angle, it was revealed that only the groups treated with HF5% did not show a statistically significant difference after being silanated, compared to pre-treatment values. Within silanated groups, significant differences were noted between 20s groups and HF5%60s group. As for SLZ,



adhesive-treated groups reported significantly higher contact angle values than non-treated groups.

Conclusions

The zirconia-reinforced lithium silicate groups showed higher bond strength than DL. In addition, surface treatment employing HF (both concentrations: 5% and 10%) for 20s showed the best adhesive performance. As regards with both composite CAD/CAM materials, no statistical difference was recorded regarding bond strength after tested; moreover, sandblasted groups showed higher bond strength than non-sandblasted groups. In relation to the contact angle, it was also concluded that DL groups treated with HF5% showed the highest hydrophobic surfaces. As well, SLZ showed hydrophobic surfaces after being silanized and as for the composite materials, the application of an adhesive system showed more hydrophilic surfaces and therefore superior surface free energy to attract water-based solutions.

Keywords: Surface energy, adhesion, CAD/CAM, resins, ceramics, scanning electron microscope.



PREFACIO

El siguiente trabajo pretende evaluar la influencia de diferentes tratamientos de superficie en el desempeño adhesivo de diferentes materiales cerámicos y resinosos para CAD/CAM con materiales resinosos, para determinar el protocolo más confiable. Por lo cual para la realización del trabajo se utilizaron dos materiales cerámicos, disilicato de litio Emax (DL) y silicato de litio Suprinity (SLZ) y dos materiales resinosos, resina compuesta Crios (BC) y resina nanocerámica Lava (LAV), a los cuales se les aplicaron distintos tipos de tratamientos de superficie; grabados con ácido fluorhídrico con diferentes concentraciones y tiempos para las cerámicas, y arenado con dos adhesivos diferentes para las resinas, para su posterior estudio de resistencia adhesiva.

Este estudio es necesario debido a la alta demanda actual de restauraciones CAD/CAM, y a que este grupo de materiales están en continuo lanzamiento de nuevas alternativas, creando un sin fin de opciones para el clínico. Es por esto que la selección de un material para restauraciones indirectas hoy día, representa un proceso complejo, así como su manejo durante el proceso de tratamiento de superficie con miras a la cementación adhesiva, pues la especificidad de estos tratamientos de superficie va a depender de las cualidades y composición de cada material. Aunado a lo anterior, aún no existe consenso en algunos parámetros alrededor del mejor tratamiento de superficie para cada material estudiado aquí, por lo que se hace relevante generar nueva información al respecto.



PARTE I
MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL



MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL

Capítulo 1. Materiales para restauraciones indirectas y su evolución

Las restauraciones indirectas son aquellas que son confeccionadas en el laboratorio a partir de un modelo maestro, devolviéndole al diente su morfología y función, y las cuales pueden ser fabricadas de diferentes métodos, tales como completamente sinterizadas, parcialmente sinterizadas, infiltradas por vidrio, modeladas o condensadas, coladas e inyectadas, torneadas o maquinadas mediante copiadoras o fresadoras a través de sistemas CAD-CAM.(1) Clínicamente, las restauraciones indirectas presentan comportamientos superiores que las restauraciones directas de resinas compuestas, especialmente en las propiedades estéticas, anatómicas y de resistencia al desgaste, por lo que actualmente su uso se encuentra generalizado mundialmente utilizando una gran variedad de materiales tales como cerámicos, metálicos y poliméricos. (2) Debido a sus propiedades estéticas y biomecánicas, los materiales cerámicos tienen posibilidades de presentar una apariencia natural y ser altamente biocompatibles, lo que las convierte en uno de los materiales más utilizados.

Se consideran materiales cerámicos aquellos productos de naturaleza inorgánica, formados mayormente por elementos no metálicos, los cuales se obtienen por acción de calor y cuya estructura es total o parcialmente cristalina. (3)

La gran mayoría de las cerámicas dentales, salvo excepciones que se comentarán, tienen una estructura mixta, es decir, son materiales compuestos formados por una matriz vítrea (cuyos átomos están desordenados) en la que se encuentran inmersas partículas más o menos grandes de minerales cristalizados. La fase vítrea es la responsable de proveer estética a estos materiales mientras que la fase cristalina es la responsable de brindar resistencia. Por lo tanto, la microestructura de la cerámica tiene una gran importancia clínica, ya que el comportamiento estético y mecánico de un sistema depende directamente de su composición. (4)

Los sistemas de clasificación para materiales cerámicos de uso odontológico facilitan la comprensión de información clínica, como contraindicaciones e indicaciones de uso, protocolos de adhesión y tratamiento de superficies idóneos para cada material, entre otros. Se han propuesto diferentes clasificaciones para las cerámicas según su: indicación clínica, composición, capacidad de grabado, método de procesado, temperatura de fusión, microestructura, translucidez, resistencia a la fractura y desgaste de la pieza antagonista. (3) La más utilizada de las anteriormente mencionadas es la clasificación por su composición, la cual se dividen en tres tipos, según Gracis y colaboradores, las que poseen alto contenido de matriz vítrea, las policristalinas y las que poseen matriz resinosa. (3)

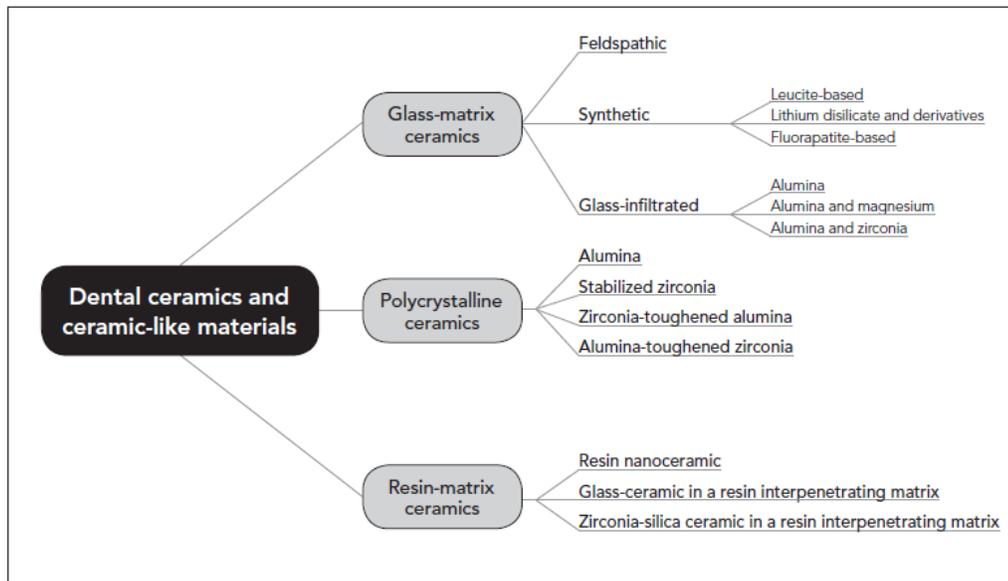


Figura 1. Descripción general del sistema de clasificación propuesto para todos los materiales cerámicos y similares a la cerámica.

Fuente: Gracis S, Thompson V, Ferencz J, Silva N, Bonfante E. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative mate.

Las cerámicas con matriz vítrea son materiales cerámicos inorgánicos no metálicos, que contienen una fase vítrea prominente, lo cual hace que sean materiales con altas propiedades ópticas, pero con propiedades mecánicas menores que otras cerámicas. Las cerámicas policristalinas, aunque también son materiales cerámicos inorgánicos no metálicos, se diferencian de las cerámicas con matriz vítrea principalmente en que no poseen una fase



vítrea, esto debido a que la mayoría de sus componentes son cristales a base de óxidos metálicos, como el óxido de aluminio y el óxido de zirconio (zirconia), lo que hace que estas cerámicas sean originalmente menos estéticas por ser estos componente más opacos, pero con altas propiedades mecánicas.(3) Por último, las cerámicas con matriz resinosa poseen matrices de polímeros, que contienen componentes refractarios, predominantemente inorgánicos que pueden incluir porcelanas, vidrios, cerámicas y vitrocerámicas como rellenos, sin embargo, estos últimos componen la mayoría del material. En otras clasificaciones, estos materiales se consideran resinas compuestas con alto contenido de relleno inorgánico o cerámico, debido a que su composición general no difiere mucho de cualquier material considerado como resina compuesta o compósito, pues ambos poseen una matriz orgánica y relleno inorgánico. Inclusive su comportamiento mecánico y adhesivo es más cercano al de las resinas compuestas que al de los materiales cerámicos.

Estos tres grupos se dividen en varias familias, y de estas existen diferentes tipos como se observa en la figura 1. Esta clasificación es importante, porque se pueden clasificar según sus propiedades, como la resistencia, dureza, reflexión de la luz, entre otras. Es de suma importancia conocer estas propiedades al escoger el tipo de restauración que se utiliza clínicamente.

Las cerámicas vítreas pueden ser totalmente compuestas por una matriz producida por procesos térmicos, como por ejemplo, la cerámica feldespática y la porcelana (similares). Con la evolución de estos materiales surgió, posteriormente, un subgrupo de cerámicas vítreas, que son reforzadas con fase cristalina, lo que hace que éstas mantengan propiedades ópticas adecuadas y a la vez un mejor rendimiento mecánico. (4) Dentro de las cerámicas vítreas reforzadas con cristales sintéticos, se encuentra la cerámica a base de leucita, reforzada con silicatos de litio como: silicato de litio y disilicato de litio; y a base de fluorapatita. (3)

Por otra parte, dentro de las cerámicas policristalinas se encuentran cerámicas a base de óxido de aluminio y óxido de zirconia, los cuales son un conglomerado de cristales de óxidos unidos entre sí. Existen de forma individual y combinados (alúmina y zirconia) en diferentes proporciones.



Las cerámicas con matriz resinosa comprenden las llamadas nanocerámicas, las cuales, como se mencionó anteriormente, son resinas compuestas con un alto contenido de relleno cerámico; y también se encuentran las cerámicas infiltradas con polímeros. (3)

Esta clasificación es importante conocerla, ya que tienen sus indicaciones específicas, por ejemplo, las cerámicas con matriz vítrea se recomiendan para trabajos en anterior, donde la estética es de mayor importancia que sus propiedades mecánicas, y las cerámicas vítreas reforzadas reúnen ambas características: estética y altas propiedades mecánicas, por lo que son un equilibrio ideal para casos donde ambas propiedades sean requeridas. En ocasiones, donde se requieren altas propiedades mecánicas, se recomiendan las policristalinas, ya que, aunque son menos estéticas que las anteriores, resistirán mejor en zonas de alta demanda mecánica de la cavidad oral. En el caso de las cerámicas con matriz resinosa, son indicadas cuando se requiere una restauración indirecta de tipo incrustación, que es cuando la zona a restaurar se encuentra circundada por una o varias paredes de tejido dental sano, en estos casos, se recomienda el uso de este tipo de materiales, pues además de tener altas propiedades mecánicas y estética aceptable, poseen un módulo de elasticidad más cercano al de los tejidos dentales que los demás materiales cerámicos.

Como se expuso al inicio, los materiales para restauraciones indirectas no se pueden procesar directamente en la boca del paciente, por lo que requieren procesos de laboratorio previos para poder producir la restauración. Estos procesos han sido numerosos en la historia de la odontología restaurativa, y han producido una categoría más de clasificación de estos materiales. Las cerámicas específicamente también se pueden clasificar entonces, según su método de procesamiento, entre los cuales se encuentran: condensación, inyección/prensado y CAD/CAM. (5)

La técnica de condensación manual consiste en que la cerámica en polvo es mezclada con agua y es condensada en un modelo. La técnica de prensado/inyectado o sustitución de cera perdida, está basada en el tradicional modelado de un patrón de cera que posteriormente se elimina y se transforma en un molde de un material refractario, el cual mediante inyección será rellenado con el material cerámico en estado líquido, generando la restauración a partir de ese molde, tal y como clásicamente se efectúa con el metal el proceso de colado. Diversos



estudios han demostrado que este procedimiento aumenta la resistencia de la cerámica, porque disminuye la porosidad y proporciona una distribución más uniforme de los cristales en el seno de la matriz. (5)

La técnica llamada CAD/CAM consiste en hacer un escaneo digital, ya sea de un modelo de trabajo o del tejido dental, que con la ayuda de un software se producirá un modelo digital en el cual se realiza un diseño también digital que es reproducido en un bloque o disco de un material, con la ayuda de una máquina automatizada de fresado (6). Gracias a la digitalización se registra tridimensionalmente la preparación dentaria. Como se mencionó anteriormente, esta exploración puede ser extraoral (si se escanea el modelo) o intraoral (directamente en la boca del paciente, sin necesidad de tomar impresiones). Estos datos se transfieren a una computadora donde se realiza el diseño con un software especial. Concluido el diseño, la computadora da las instrucciones a la unidad de fresado, que inicia de forma automática el mecanizado de la estructura cerámica. Esta técnica permite confeccionar restauraciones cerámicas precisas de una forma rápida y cómoda. Todos estos sistemas controlados por computadora constan de tres fases, a saber: digitalización, diseño y mecanizado.

La consolidación de este proceso de producción de restauraciones indirectas en años recientes, ha propiciado de forma paralela una evolución en el desarrollo de nuevos materiales dentales para restauraciones indirectas. (3) Tan es así que hoy los materiales producidos en presentaciones aptas para ser procesados en sistemas CAD/CAM (bloques o discos) se consideran una categoría de materiales en sí misma, aunque en términos de composición se manejen diferentes tipos (metales, cerámicas y polímeros). (7) Específicamente, entre los materiales CAD-CAM para restauraciones indirectas, existen dos tipos principales, según su estado a la hora del fresado. El primero es cuando el material se encuentra completamente listo luego del fresado para cementar en boca (cristalizado en el caso de las cerámicas vítreas, o sinterizado en el caso de las cerámicas policristalinas), mientras que el segundo consiste en un material cuyo bloque se encuentra en estado parcialmente cristalizado o sinterizado, por lo que requiere un proceso posterior de cristalización o sinterización final en un horno específico. Ambas técnicas se utilizan en odontología y cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas.



El mecanizado de un bloque de material 100% cristalizado o sinterizado proporciona a la restauración, una mayor precisión de sus contornos y forma, pues los procesos térmicos modifican levemente las dimensiones de los materiales, además de ahorrar tiempo en el proceso de laboratorio. Sin embargo, al mecanizar un material en su estado 100% cristalizado o sinterizado, de alta resistencia como la cerámica policristalina, tanto el desgaste de las herramientas de la unidad de mecanizado como el tiempo de mecanizado son muy elevados. Además, el mecanizado de materiales frágiles, como la cerámica dental, puede conducir a la formación de microgrietas y defectos superficiales. Por otro lado, cuando la restauración se produce a partir de un bloque parcialmente sinterizado, a pesar de la desventaja de requerir un proceso térmico extra para que el material alcance sus propiedades máximas, existe la ventaja de que el material al encontrarse en un estado “crudo”, su dureza superficial es menor, facilitando el fresado. Adicionalmente, mediante el proceso final de cristalización/sinterización, se puede promover la “curación” o cierre de algunas microfisuras producidas por el mecanizado. (5)

Sin duda, estos procesos automatizados de producción de restauraciones indirectas se están consolidando cada vez más, haciendo que la industria de los materiales dentales también evolucione de forma paralela para llenar las necesidades del mercado.

Capítulo 2. Materiales CAD CAM, características y usos

Actualmente, es común utilizar el diseño asistido por computadora y la fabricación asistida por computadora (CAD/CAM) para fabricar restauraciones indirectas. En este momento, se encuentra disponible una amplia gama de materiales para las restauraciones CAD/CAM. En el estudio de Wendler, Belli y colaboradores, caracterizaron los materiales dentales CAD/CAM, en donde determinaron las composiciones, propiedades mecánicas y físicas de estos materiales dentales, con el fin de proporcionar información real y así determinar su óptimo uso clínico. Se identificaron los siguientes materiales: cerámica feldespática reforzada (MarkII, VITA), cerámica a base de leucita (IPS Empress, Ivoclar, Vivadent), cerámica reforzadas con disilicato de litio (IPS emax, Ivoclar Vivadent), cerámica reforzada por silicato de litio y zirconia (celtra duo, Dentsply, Suprinity, VITA), cerámica infiltrada



con polímero (VITA Enamic), resina compuesta nanocerámica (LAVA Ultimate, 3M ESPE), cerámicas a base de óxido de zirconia (E.max ZirCAD, Ivoclar Vivadent), entre otras. (8)

Gracias a estas investigaciones, se pudo determinar el uso clínico de estos materiales dentales CAD-CAM, como se detalla a continuación: (8)

- Cerámicas a base de óxido de zirconio (Emax Zir-CAD-CAM) para coronas individuales o restauraciones de 3-12 piezas.
- Cerámicas reforzadas con disilicato de litio (Emax CAD): carillas, inlays, onlays, coronas anteriores y posteriores, para piezas dentales o implantes, puentes de tres unidades hasta premolares.
- Cerámica reforzada por silicato de litio y zirconio (Central Duo, Suprinity, Vita): carillas, inlays, onlays, coronas anteriores y posteriores.
- Cerámica feldespática reforzada (Vitablock Mark II): carillas, inlays, onlays, coronas anteriores y posteriores.
- Cerámica a base de leucita (Empress CAD): carillas, inlays, onlays, coronas anteriores y posteriores.
- Cerámica infiltrada con polímero (Enamic): carillas, inlays, onlays, coronas anteriores y posteriores.
- Resina compuesta nanocerámica (Lava ultimate): carillas, onlays, inlays.

En este trabajo se profundiza sobre los materiales objetos de estudio, que incluyen las cerámicas vítreas disilicato de litio (E.max CAD) y silicato de litio reforzado con zirconia (Suprinity CAD); así como materiales resinosos del tipo nanocerámica o cerómero (Lava Ultimate CAD), y una resina compuesta nanoparticulada (Crios Brilliant CAD).

2.1 Disilicato de litio

La primera vitrocerámica de disilicato de litio se produjo mediante la fusión de un vidrio, que luego se molió para formar un polvo, que se utilizó para fabricar los llamados bloques o lingotes “azules”. (5)

Las vitrocerámicas de disilicato de litio sufrieron algunos cambios y dieron lugar a IPS e.max disilicato de litio (Ivoclar Vivadent Ltda., Barueri, Brasil), que presenta mejores propiedades



mecánicas, principalmente debido a la disminución del tamaño de los cristales (longitud que varía entre 2,0 a 3,0 μm) y el aumento en el entrelazado entre los cristales.(5) IPS E.max son uno de los sistemas cerámicos monolíticos que han ganado popularidad por su alta estética y mejores propiedades mecánicas.

IPS E.max disilicato de litio puede ser elaborado por un proceso de compresión térmica o a través del sistema CAD/CAM. Dentro de sus propiedades, la resistencia a la flexión de IPS E.max para CAD/CAM es de aproximadamente 350-450MPa, la tenacidad a la fractura es de aproximadamente 2.80 MPa $\text{m}^{1/2}$, y la dureza aproximadamente de 5.3Gpa. (5)

En el caso de CAD/CAM, los bloques se fabrican en un proceso basado en la fundición a presión utilizado en la industria del vidrio. La cerámica contiene núcleos de metasilicato y disilicato de litio, el bloque se puede fresar fácilmente, después de lo cual la restauración se recristaliza en un horno de cerámica a 850 °C al vacío durante 20-25 min. Durante este tratamiento térmico, los metasilicatos se disuelven, el disilicato de litio cristaliza y la cerámica se esmalta al mismo tiempo. El bloque también cambia de azul al tono y translucidez elegidos. En este estado, la cerámica contiene 70% en volumen de cristales de aproximadamente 1,5 mm de tamaño y la resistencia aumenta drásticamente a 360 MPa. (9)

Las restauraciones de cerámica de disilicato de litio (IPS E.max; Ivoclar Vivadent) han ganado mucha popularidad debido a sus propiedades físicas y ópticas superiores comparada a otros materiales dentales. Son indicadas para fabricar coronas individuales anteriores o posteriores, también en restauraciones de cobertura parcial. (10)

En un estudio realizado por Goujat, se pudo determinar que el IPS. Emax CAD posee altas propiedades mecánicas, ya que posee mejor resistencia a la fractura, mayor módulo de elasticidad y dureza que los polímeros infiltrados y las nanocerámicas. (11)

En un estudio reciente, se comparó esta cerámica (IPS E.max) con el Vita Suprinity, donde se compararon sus propiedades mecánicas. Se demostró que el silicato de litio reforzado con zirconia posee propiedades mecánicas superiores como la tenacidad a la fractura, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, y dureza en comparación con el disilicato de litio. (12)



Con respecto a la adhesión, se ha informado que el tratamiento con grabado con ácido fluorhídrico seguido de silano mejora la resistencia a la microtensión cuando se adhiere a la estructura del diente, este tema se verá con mayor profundidad en el capítulo III. (13)

2.2 Silicato de Litio reforzado con Zirconia

Recientemente, se ha introducido al mercado una cerámica vítrea de silicato de litio reforzada con zirconia. Los dos ejemplos comerciales existentes de vitrocerámicas de silicato de litio CAD/CAM son: a) Suprinity (Vita Zahnfabrik, Bad Sachingen, Alemania), un material comercializado en estado parcialmente cristalizado y que requiere un ciclo térmico adicional en un horno; y b) CELTRA Duo (Dentisply-Sirona, Bensheim, Alemania), un material que ya se encuentra en su etapa final de cristalización; se explica con mayor profundidad sobre Vita Suprinity, ya que es el material objeto en esta investigación. (5)

Vita Suprinity está compuesta por una matriz sintética con cristales de zirconia (56-64% de dióxido de silicio, 15-21% de óxido de litio, 8-12% de dióxido de zirconia y otros componentes). Los cristales están distribuidos de manera homogénea, por esto mejora su dureza, estos cristales son más largos y redondeados comparado a los cristales del disilicato de litio. (14)

Las propiedades mecánicas y físicas, como la resistencia a la flexión aproximadamente 420MPa, un módulo de elasticidad aproximadamente de 70GPa, dureza vickers de aproximadamente 7000MPa (3). Esta última es una característica importante que se debe valorar en casos de pacientes bruxistas, ya que, en una investigación realizada, donde compararon la dureza de diferentes materiales, se pudo determinar que esta cerámica junto con la de disilicato de litio causaron altas tasas de desgaste en esmalte y materiales dentales. (15)

Con respecto a las propiedades ópticas de Vita Suprinity, posee un valor y un croma mayor por eso tiene un color más amarillo si se compara con otros materiales, posee mayor estabilidad de color respecto a los materiales de resina. (9)

Estas novedosas vitrocerámicas de silicato de litio reforzadas con zirconia tienen buenas propiedades mecánicas asociadas a una excelente calidad estética, siendo así una alternativa



válida a los materiales de disilicato de litio para rehabilitaciones protésicas con alta exigencia estética. Una ventaja particular de la cerámica de silicato de litio sobre la versión de disilicato de litio es la capacidad de pulido superior debido a los tamaños de cristal más pequeños en la microestructura. (5)

Dentro de su uso clínico, según el fabricante, se utilizan para confeccionar inlays, onlays, coronas parciales, carillas, coronas anteriores, y posteriores, restauraciones individuales de dientes anteriores y posteriores sobre pilares de implantes. (15)

2.3 Resina Compuesta nanoparticulada para CAD/CAM

En odontología, para que un material de resina sea exitoso debe tener ciertas características, como alta resistencia, buena resistencia a la fractura, baja contracción de polimerización, bajo nivel de fatiga y degradación, además deber ser biocompatibles, preservar la integridad de los dientes, permitir combinación de colores y lograr un pulido adecuado. (8)

Las restauraciones indirectas a base de resina se han utilizado como una alternativa para evitar la contracción de la polimerización y para mejorar las propiedades mecánicas y físicas al final de las restauraciones. Además, las restauraciones procesadas en laboratorio mostraron menos deficiencias, mayores grados de conversión y mayor resistencia al desgaste. Como ventajas adicionales se deben incluir el minimizar los desafíos del operador al realizar restauraciones directas con resina, como las dificultades de aislamiento y el desafío de lograr contactos interproximales adecuados y construir restauraciones realistas. (16) Con diseño asistido por computadora y tecnología de fabricación (CAD/CAM), las restauraciones indirectas de resina han ganado una nueva dimensión. La tecnología permite a los dentistas fabricar restauraciones con un nivel de calidad comparable con técnicas convencionales en poco tiempo. (16)

Las resinas compuestas CAD/CAM consisten en una matriz polimérica y cargas dispersas. Estas cargas pueden ser orgánicas como por ejemplo Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA entre otros, e inorgánicas como vidrio de bario u óxidos de metales, además están compuestos de los agentes de acoplamiento (como el silano), iniciadores, estabilizadores y pigmentos. Estas se diferencian de las nanocerámicas debido a que las nanocerámicas no están compuestas



por una fase vítrea, sin embargo, presentan una fase inorgánica, que es compuesta por una cerámica vítrea y óxidos metálicos pulverizados, amarrada por una fase orgánica. (18)

Dentro de las resinas compuestas CAD/CAM se encuentra la Crios, Brilliant (Coltene), es un bloque de composite reforzado para la fabricación de restauraciones definitivas indirectas. (18)

Este material es el resultado del fraguado térmico controlado y sin tensiones. Se da por una composición de una fase inorgánica (71%) compuesta por sílice amorfo y vidrio de bario y una fase orgánica (29%) compuesta por metacrilatos como Bis-GMA, Bis-EMA, TEG-DMA. (18)

Con respecto a sus propiedades mecánicas, presenta un módulo de elasticidad de aproximadamente 10.3GPa, resistencia a la flexión biaxial aproximadamente de 262MPa, una resistencia a la compresión de aproximadamente 426MPa, además cumple con la estabilidad de color según ISO 4049. (18)

En una investigación por Hampe, donde comparan la tenacidad a la fractura de materiales resinosos y cerámicos, se pudo apreciar como los materiales resinosos tienen un módulo de elasticidad más bajo con respecto a las cerámicas, además que son susceptibles a la fatiga, y que el debilitamiento de la matriz de resina se da por el agua que produce una propagación de las grietas. (17)

Una de sus ventajas, comparada con los materiales cerámicos, se puede modificar y reparar, alta precisión de tallado, pulido sin esfuerzo. (18) Aunque los materiales a base de resina CAD / CAM se han reportado como resistente a las fuerzas masticatorias funcionales, bajo cargas pesadas debido a traumatismos o hábitos parafuncionales, como por ejemplo el bruxismo, se ha reportado que estos materiales pueden fracturarse y deben repararse intraoralmente. (16) Dentro de sus indicaciones son: restauraciones en anterior y posterior, inlays, onlays, coronas y carillas, restauraciones definitivas unitarias. (18)

2.4 Cerámica con matriz resinosa (Nanocerámicas)

Esta categoría comprende materiales con un matriz altamente llena de partículas cerámicas. Estos materiales están compuestos predominantemente (> 50% en peso) de compuestos inorgánicos refractarios, independientemente de la presencia de una fase orgánica menos



predominante (polímero). Las razones de ser de los fabricantes para desarrollar materiales cerámicos de matriz de resina eran: primero, obtener un material que simula más de cerca el módulo de elasticidad de la dentina en comparación con la cerámica tradicional, segundo, desarrollar un material más fácil de fresar y ajustar que las cerámicas de matriz de vidrio o cerámicas policristalinas, y tercero, facilitan la reparación o modificación con resina compuesta. (3)

Estos materiales pueden dividirse en varias subfamilias, según su composición inorgánica: nanocerámicas, cerámica de vidrio en una matriz de resina, cerámica de zirconia-sílice en una matriz de resina, se profundiza, a continuación, en las nanocerámicas. (3)

Las resinas nanocerámicas consisten en una matriz de resina altamente curada reforzada con aproximadamente un 80% en peso de partículas nanocerámicas. La combinación de sílice discreta nanopartículas (20 nm de diámetro), nano partículas de zirconia (4 a 11 nm de diámetro) y zirconia-sílice (agregados unidos de nanopartículas), reduce el espaciado intersticial de las partículas de relleno, permitiendo un alto contenido de nanocerámica. (3)

Lava Ultimate (3M ESPE) es un nanocompuesto de bloques a base de resina, compuesto de 80% en peso de partículas de nanocerámica de zirconia/sílice, incrustadas en una resina con una alta matriz reticulada (20% en peso). (5)

Según el fabricante, este material tiene alta resistencia mecánica, es menos quebradizo que las cerámicas, tiene una resistencia a la flexión de aproximadamente 200MPa, además una alta estética, alta resiliencia, por lo cual mínimo desgaste. Dentro de sus indicaciones son coronas individuales incluidas las coronas sobre implantes, inlays, onlays, coronas posteriores, carillas. (19)

En el estudio de Lawson, en el cual midieron diferentes propiedades mecánicas de varios materiales CAD/CAM, se pudo apreciar como Lava Ultimate tuvo como resultado; la resistencia a la flexión, módulo elástico y dureza con valores más bajos comparado a las vitrocerámicas. Además, experimentaron menos desgaste que las vitrocerámicas. (20)

Se ha demostrado que este material es resistente a las fuerzas masticatorias humanas, incluso con un grosor mínimo de solo 0,5 mm. Las coronas posteriores hechas de nanocerámicas mostraron una mayor resistencia a la fatiga que las feldespáticas y menos desgaste del



antagonista. Junto con la superioridad física y mecánica, la capacidad de reparación de un material dental restaurador también es crucial para la odontología mínimamente invasiva. (16)

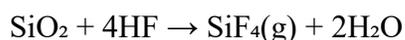
Capítulo 3. Adhesión en materiales CAD/CAM

La confiabilidad en la adhesión en el uso de bloques CAD/CAM preprocesados es incuestionable y no debe ser descuidado en el uso clínico, ya que es un factor clave en el éxito a largo plazo de una restauración indirecta (21). El material de escogencia para la cementación de restauraciones indirectas es el cemento resinoso, por su composición y características similares a las resinas convencionales con su consistencia inorgánica compuesta de matiz orgánico (22).

Existen dos interfases adhesivas, el material al cemento y el diente al cemento. El estudio de la interfase del material hacía el cemento, se enfoca en la categoría del material y el protocolo de tratamiento de superficie para así evaluar una comprensión de la relación de la unión entre ambos. Existen dos mecanismos que forman parte de la adhesión entre el material y el cemento, la retención micromecánica y el enlace químico. Para lograr el entrelazado micromecánico, comúnmente se usan dos tratamientos de superficie, el grabado con ácido fluorhídrico (HF) y el arenado (23). Mientras que la adhesión química ha sido implementada con el uso de compuestos como agentes de acoplamiento de silano y agentes adhesivos, creando una combinación de técnicas mecánicas y químicas para aumentar la adhesión entre el cemento resinoso y el material restaurador. (24)

3.1 Protocolos en Cerámicas Vítreas

El uso del grabado con ácido fluorhídrico ha sido investigado en una gran cantidad de estudios sobre la variación del protocolo en materiales cerámicos para el uso posterior con cementos resinosos. Las cerámicas vítreas se caracterizan por un alto porcentaje de fase vítrea en su composición. (21) El uso de ácido fluorhídrico permite una exposición de la estructura cristalina, de tal manera que aumenta la rugosidad y energía superficial del material, facilitando la retención micromecánica y la atracción molecular. Esto se debe por su reacción con el dióxido de silicio en la superficie cerámica, no depende de su propiedad ácida, sino de la sustitución del fluoruro por oxígeno en la fase vítrea, siendo su reacción química la siguiente (23):





El tamaño y el número de irregularidades en la superficie es influenciado por el tiempo de grabado, la fórmula ácida y la difusión de la solución ácida. (25) Estudios en diferentes materiales cerámicos han valorado el efecto del aumento o disminución de tiempos de grabado sobre la morfología superficial o la habilidad adhesiva de la cerámica. Resultados muestran que largos periodos de condicionamiento puede incrementar la fuerza adhesiva, pero ha demostrado ser dependiente de la cantidad cristalina en la composición del material. Largos periodos del grabado ácido pueden perjudicar la infiltración de las irregularidades por el cemento resinoso creando retenciones profundas provocando vacíos en la matriz (23). Por el contrario, un tiempo corto de grabado, puede ser no suficientemente potente para crear irregularidades necesarias para aumentar la energía superficial.

HF es considerado un ácido altamente corrosivo y es capaz de crear un trauma severo en tejido blandos, por lo que su manejo y limpieza debe tener consideración. El grabado con HF es capaz de producir sales residuales de fluoruro de sílice dejando depósitos sobre la superficie afectando la fuerza de adhesión con la resina. Por lo cual es recomendado hacer el grabado seguido por un baño de ultrasonido continuando con la aplicación regular de silano. (26)

El enlace químico generado por el silano ha sido promovido desde 1977, por su capacidad de reactivar ambos grupos funcionales en su molécula 3- metacriloxipropiltrimetoxisilano (MPS), donde un lado actúa con metacrilatos copolimerizando con el cemento resinoso y su otro lado, actúa sobre el dióxido de sílice hidrolizado (SiOH) de las estructuras vítreas de la cerámica (27)(24). La mayor adhesión del silano se obtiene con silica, vidrio y cuarzo lo que forman fuertes enlaces de siloxano por la condensación de los grupos hidróxidos de la superficie, en este caso, de las cerámicas. La reacción con los grupos funcionales de los monómeros resinosos que contienen C=C, en cemento resinoso, es inducida por los radicales libres generados por la foto-activación de los componentes iniciadores de la matriz generando nuevos enlaces sigma C—C. (26) Todo esto lleva a una mejor humectabilidad de la resina en la superficie cerámica grabada y a un enlace covalente entre ambos. (27)



La recomendación del fabricante normalmente ha sido de acuerdo con la cantidad de fase vítrea de las cerámicas, en el caso de disilicato de litio es indicado que el grabado sea con HF al 5% por 20 segundos por su baja cantidad vítrea. (21) Mientras que para un silicato-fosfato de litio reforzado con zirconia que contiene aproximadamente un 10% en peso de zirconia, su recomendación es de un grabado con HF 9% por 20 segundos. (28)

Estudios han evaluado diferentes periodos de protocolo de grabado en materiales cerámicos y han encontrado resultados que muestran que una concentración de 10% es suficientemente fuerte para disolver grandes cantidades de fase vítrea produciendo así mayor irregularidad no solo en la dimensión superficial, sino tridimensionalmente. A diferencia de una alta concentración, un tratamiento de HF al 5% por 20 segundos produjo la profundidad más baja de grabado reduciendo el daño interno del material. Por lo cual se ha concluido que la recomendación del uso de un protocolo de grabado debe ser de baja concentración para preservar la integridad estructural, aunque mayor investigación del tema debe realizarse. (21)

3.2 Protocolos en Materiales Resinosos

El uso de bloques de resina CAD/CAM presenta una opción de costo razonable en comparación con otros materiales estéticos por su estabilidad de color al ser altamente polimerizados bajo una alta presión y temperatura. Estudios han descubierto que estas restauraciones fijas de bloques de resina CAD/CAM exhiben una mayor fractura en comparación a las restauraciones de resina convencionales, por ello se han fabricado resinas con distintos rellenos tratando de mejorar sus propiedades. Esto ha llevado a cuestionar si estos nuevos materiales puedan dificultar una adhesión deseable o necesaria con los cementos resinosos por su disminución de dobles enlaces libres C-C. (29)

El arenado consiste en el proceso de crear una superficie rugosa sobre el material expulsando partículas de alúmina (Al_2O_3), con el fin de limpiar y aumentar la retención micromecánica por la rugosidad de la superficie. Sin embargo, la superficie de adherencia puede contaminarse con partículas de polvo de alúmina después del arenado y la cantidad depositada es proporcional a la presión durante la descarga. (26) Con base en la especificación del fabricante, para la resina compuesta, debe ser arenada con partículas de óxido de aluminio de 25-50 μ m perpendicular a la superficie a una distancia de 10mm por 5



segundos a una presión de 0.15 MPa seguido por la aplicación de adhesivo universal por 20 segundos y secado por 5 segundos. Para una resina nanocerámica, se recomienda un revestimiento con sílice triboquímico usando 30 μ m partículas de CoJet perpendicular a la superficie a 10mm de distancia por 5 segundos a una presión de 0.2MPa, seguido por adhesivo universal por 20 segundos y secado por 5 segundos. (30)

El revestimiento de sílice triboquímico es un proceso de arenado que usa partículas de alúmina revestidas con sílice. Los polvos presionados generan una energía cinética que son absorbidos por la superficie y subsecuentemente, la disuelve parcialmente. De esa manera, los polvos de alúmina cubiertos por sílice se incorporan a la superficie produciendo una capa superficial de sílice. (31) Varios estudios han demostrado que el uso de sílice triboquímico no mejora la adhesión sobre el arenado en resinas compuestas CAD/CAM. (29)

Como consecuencia del arenado, los componentes inorgánicos disponibles para la silanización pueden ser removidos durante la descarga. Además, los rellenos dispersos que son tratados industrialmente con silano son hidrofóbicos y la parte no hidrolizables del silano permanecen fácilmente disponibles para la copolimerización con grupos metacrilato del cemento de resina. La evidencia ha señalado que la aplicación de silano sin agente adhesivo no beneficia la adhesión sobre el cemento resinoso en materiales de resina compuesta CAD/CAM y se ha demostrado que es el uso de adhesivo universal, que contenga un agente funcional de metilmetacrilatos, que actúe como un primer de resina tiene un impacto favorable sobre la adhesión. (30)

La resistencia de unión inmediata puede ser el resultado de la filtración del adhesivo en las irregularidades y grietas de la superficie causadas por el arenado donde forman una red interpenetrante por los monómeros que se polimerizan en la matriz. Los adhesivos universales que tiene como compuestos monómeros de silano y fosfato, superan los adhesivos que únicamente poseen monómeros metacrilatos. Los metacrilatos contienen agentes adhesivos que pueden unirse por la polimerización radical a grupos no polimerizados de las resinas compuestas CAD/CAM. El monómero autograbante 10-MDP (metacriloxidecilfosfato dihidrogenado) del adhesivo universal puede lograr un enlace químico con los grupos ácidos de los copolímeros al ser un primer de zirconia, alúmina y



metales en los rellenos de las resinas compuestas. De esa manera, se establece una adhesión de la fase orgánica, así como del relleno de la resina compuesta CAD/CAM. (30)

Varios estudios han concluido que el uso de un agente de silano en adhesivos universales permanece incierto, esto se debe al hecho que el silano es inestable en la solución ácida de los adhesivos universales, lo que promueve hidrolisis y la condensación por deshidratación. (30) El tratamiento de la superficie y el protocolo de adhesión ha mostrado ser específico para las características microestructurales de los materiales CAD/CAM. Esto impulsa el estudio de los efectos de diferentes tratamientos de superficie estándares usados clínicamente y su resultado sobre la adhesión del cemento a estos materiales, para esa manera generar una guía de protocolos según la característica del material CAD/CAM de preferencia. (30)



PARTE II
ARTÍCULO CIENTÍFICO



Efecto de tratamientos de superficie en la adhesión de materiales cerámicos y resinosos CAD/CAM con agentes cementates y su relación con la energía libre de superficie.

RESUMEN/ABSTRACT

Objetivo

Evaluar la influencia de diferentes tratamientos de superficie en el desempeño adhesivo de diferentes materiales cerámicos y resinosos para CAD/CA unidos a materiales resinosos.

Metodología

Para los materiales cerámicos, disilicato de litio (DL) y silicato de litio reforzado con zirconia (SLZ) se confeccionaron muestras rectangulares y se dividieron en cinco grupos de tratamiento (n=15): Control, HF (ácido fluorhídrico) 5%20s, HF5%60s, HF10%20s y HF10%60s. Para los materiales resinosos se confeccionaron, igualmente, muestras rectangulares divididas en seis grupos de tratamiento: Control, arenado, SA (sin arenado)+SB (adhesivo universal), A (arenado)+SB, SA+HB (Adhesivo no simplificado hidrofóbico) y A+HB. Se evaluó la resistencia adhesiva por microcizalla entre los materiales tratados y materiales resinosos. Además, los materiales fueron evaluados morfológicamente con un microscopio electrónico de barrio (MEB), posteriormente, se midió su ángulo de contacto/energía libre de superficie con ayuda de un goniómetro antes y después de la colocación del silano en las cerámicas y del adhesivo en las resinas. Los datos fueron analizados estadísticamente con las pruebas de ANOVA, Kruskal-Wallis y Tukey ($\alpha=0.05$).



Resultados

Se reveló que los valores de ZLS fueron significativamente mayores que los presentados por el DL ($p < 0.05$). En cuanto a los protocolos adhesivos, se observó que el grupo HF10%20s obtuvo los resultados mayores para ambas cerámicas. También se mostró que, en los grupos de resina, los que recibieron arenado presentaron mayores valores de resistencia adhesiva que los no arenados ($p < 0.05$). Además, se observó que los grupos tratados con sistema adhesivo (U y H), obtuvieron resultados mayores que los no tratados con adhesivo. De igual manera, en la prueba de goniometría se reveló que el ángulo de contacto de solo los grupos tratados con HF5%, no mostraron diferencia estadísticamente significativa después de tratados con silano, respecto a los valores iniciales. También se observó, en la comparación entre los grupos tratados con silano, que las únicas diferencias significativas se presentaron entre los grupos tratados por 20s con HF y el grupo HF5%60s. En el caso de todos los grupos del SLZ, los resultados de los valores de ángulo de contacto fueron significativamente mayores después de haber sido silanizados y finalmente, para ambas resinas, los resultados de ángulo de contacto de los grupos antes de colocar el adhesivo fueron significativamente mayores.

Conclusión

Los grupos del silicato de litio reforzado con zirconia mostraron una mayor resistencia adhesiva. Además, los grupos tratados con ácido fluorhídrico al 5% y al 10% por 20s fueron los que evidenciaron mejor resistencia adhesiva en general. Ambos materiales resinosos mostraron un rendimiento adhesivo similar; y se demostró los grupos tratados con arenado y adhesivo presentaron una mayor resistencia adhesiva. En cuanto al ángulo de contacto, se observó que los grupos tratados con HF5% en el DL mostraron superficies más hidrofóbicas. De la misma forma, los grupos del SLZ presentaron superficies más hidrofóbicas, después de haber sido silanizados y en el caso de las resinas compuestas, la aplicación de un sistema adhesivo mostró superficies más hidrofílicas y por lo tanto mayor energía de superficie para atraer soluciones acuosas.



Palabras clave: Energía de superficie, adhesión, CAD/CAM, resinas, cerámicas, microscopía electrónica de barrido.

I. ABSTRACT

Objective

The present study was conducted to evaluate the influence of different surface treatments on the adhesive performance of different ceramic and composite CAD/CAM materials for to resin-based luting materials.

Methods

For ceramic materials, lithium disilicate (DL) and zirconia reinforced lithium silicate (ZLS), rectangular samples were made and divided into five treatment groups (n=15): Control, HF5%20s, HF5%60s, HF10%20s and HF10%60s. For the composite materials, six treatment groups were made up: Control, sandblasted, SA (without sandblasting) +SB (universal adhesive), A (sandblasted) +SB (universal adhesive), SA (without sandblasting) +HB (hydrophobic adhesive non simplified) and A+HB. The micro-shear bond strength between the treated and resin-based luting materials was evaluated. Furthermore, the materials were evaluated morphologically with a scanning electron microscope (SEM), then their contact angle/surface free energy was measured with the aid of a goniometer before and after placement of silane on the ceramics and adhesive on the composite materials. The data were statistically analyzed with ANOVA and Tukey tests ($\alpha= 0.05$).

Results

It was revealed that the values of ZLS were significantly higher than those presented by DL ceramic ($p<0.05$). As for the adhesive protocols, it was observed that the HF10%20s groups obtained the highest results for both ceramics. Regarding CAD/CAM composites' groups it was revealed that those that received sandblasting presented higher bond strength values than those not sandblasted ($p<0.05$). The groups treated with adhesive systems (SB and HB)



obtained higher results than those not treated with adhesives. Regarding the contact angle, it was revealed that only the groups treated with HF5% did not show a statistically significant difference after being silanated, compared to pre-treatment values. Within silanated groups, significant differences were noted between 20s groups and HF5%60s group. As for SLZ, adhesive-treated groups reported significantly higher contact angle values than non-treated groups.

Conclusions

The zirconia-reinforced lithium silicate groups showed higher bond strength than DL. In addition, surface treatment employing HF (both concentrations: 5% and 10%) for 20s showed the best adhesive performance. As regards with both composite CAD/CAM materials, no statistical difference was recorded regarding bond strength after tested; moreover, sandblasted groups showed higher bond strength than non-sandblasted groups. In relation to the contact angle, it was also concluded that DL groups treated with HF5% showed the highest hydrophobic surfaces. As well, SLZ showed hydrophobic surfaces after being silanized and as for the composite materials, the application of an adhesive system showed more hydrophilic surfaces and therefore superior surface free energy to attract water-based solutions.

Keywords: Surface energy, adhesion, CAD/CAM, resins, ceramics, scanning electron microscope.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo, se ha utilizado el metal en restauraciones indirectas, ya sea en formatos totalmente metálicos o metal-cerámica, sin embargo, con el desarrollo de materiales cerámicos estéticos cada vez con mejores propiedades, en años recientes, este tipo de restauraciones se han venido confeccionando en un alto porcentaje, libres de metal. La evolución no ha sido solamente en cuanto a evitar el uso de metal, sino a optimizar los procesos de confección de restauraciones totalmente cerámicas. La condensación de polvo cerámico y el prensado/inyección de lingotes derretidos a presión, y posteriormente,



cristalizados en hornos, aún se encuentran en uso, sin embargo, requieren mucho tiempo de procesamiento. De esta manera, los métodos de procesamiento han encontrado en la tecnología CAD/CAM (Diseño asistido por computadora/Manufactura asistida por computadora) un método más eficiente, preciso y expedito para producir restauraciones indirectas en materiales altamente resistentes, pero a la vez estéticos libres de metal. (1)

Sin duda, el otro aspecto clave en el éxito de las restauraciones indirectas libres de metal CAD/CAM (además de sus propiedades), es su capacidad adhesiva con la estructura dental y con el material cementante. La diferencia en composición de los distintos materiales hace que los tratamientos de superficie para lograr lo anterior, sean específicos para cada tipo de material. De esta manera, la forma de lograr las interacciones químicas y mecánicas se da a través de una retención micromecánicas, una adhesión química y un aumento de la energía libre de superficie del sustrato cerámico. (2) Entre los tratamientos de superficie más comunes se encuentra el tratamiento con ácido fluorhídrico (HF), la abrasión con partículas de óxido de aluminio, silanización, entre otros. (3) Sin embargo, la especificidad de estos tratamientos de superficie va a depender de las cualidades y composición de cada material.

En el caso de los materiales cerámicos CAD/CAM con alto contenido vítreo, la estrategia preferida para lograr rugosidades en el material que faciliten la retención micromecánica del material cementante, es la utilización del ácido fluorhídrico, mientras que para lograr unión química entre la cerámica y el material resinoso cementante, se prefiere utilizar un imprimador a base de silano. (1) Sin embargo, aún existen dudas en cuanto al mejor protocolo de aplicación de estos agentes, principalmente con el HF. En el mercado se encuentran diferentes concentraciones de este ácido (principalmente al 5 y al 10%), además de que se han recomendado diferentes tiempos de aplicación del mismo en la literatura, lo que puede llevar a confusiones sobre el protocolo idóneo. Sobre este aspecto, la literatura ha revelado que los materiales con más matriz vítrea y menos contenido cristalino, requieren un protocolo más agresivo (mayor concentración y tiempo de aplicación), mientras que lo contrario se prefiere con materiales que poseen un bajo contenido de matriz vítrea, para mejorar el resultado adhesivo. (4)



Como se mencionó anteriormente, el componente químico de esa adhesión se da gracias a la utilización de un imprimador que contiene una molécula funcional llamada metacrilato de silano. Esta molécula fomenta la unión química entre materiales vítreos (como las cerámicas vítreas) y materiales resinosos (como el cemento resinoso). (5) Sin embargo, otro efecto importante de este tratamiento es que baja la energía de superficie del sustrato cerámico y vuelve esta superficie hidrofóbica y, por ende, afín al cemento resinoso que se colocará. Sin embargo, este efecto también depende del protocolo de aplicación utilizado. (6)

Por otro lado, las resinas compuestas CAD/CAM pueden ser del tipo convencional, que son muy similares en términos de composición a las resinas compuestas para uso directo; también pueden ser las del tipo llamado “nanocerámicas” o cerómeros, que es una resina compuesta con un alto contenido de relleno cerámico de tamaño nanoscópico, englobado en una matriz resinosa.(1) Si se comparan con las cerámicas vítreas, estos materiales ofrecen menor desempeño estético, sin embargo, mecánicamente se comportan muy similares a algunas cerámicas con la ventaja de que su módulo de elasticidad es muy parecido al de los tejidos dentales, lo que los hace menos rígido y frágiles que las cerámicas, además de tener mejor afinidad adhesiva con los cementos resinosos. Al ser estos materiales resinosos, igual que el cemento en términos de composición, el tratamiento de superficie de estos materiales es diferente al empleado en cerámicas vítreas. En este caso, no se indica el uso de ácido fluorhídrico para generar retenciones, pues este no reacciona con materiales resinosos y, por ende, no genera el mismo efecto en estos materiales. (7) Para conseguir este objetivo, se deben emplear métodos de abrasión mecánica como el arenado con óxido de aluminio, mientras que la estrategia de unión química que se usa con las cerámicas vítreas (el silano), en este caso no es necesaria, pues al ser ambos materiales poseen afinidad química por estar formados del mismo tipo de componentes: polímeros orgánicos.(8)

Por lo tanto, el propósito de este estudio in vitro fue evaluar propiedades adhesivas de materiales dentales CAD/CAM cerámicos y resinosos utilizados para realizar restauraciones indirectas, con miras a determinar qué protocolo de tratamiento de superficie funcionará mejor para optimizar el proceso de cementación adhesiva de estos materiales a la luz de la propiedad física de la energía libre de superficie. Para obtener información acerca de varios tipos de estos materiales, se utilizaron dos cerámicas con matriz vítrea, una reforzada con



disilicato de litio (IPS E.max CAD, Ivoclar Vivadent) y otra con silicato de litio y zirconia (VITA Suprinity, VITA Zahnfabrik); y también dos materiales resinosos CAD/CAM, una resina compuesta prepolimerizada en bloque llamada por el fabricante nanocerámica (LAVA Ultimate, 3M ESPE) y una resina compuesta prepolimerizada en bloque nanoparticulada (Crios Brilliant, Coltène/Whaledent AG). La hipótesis nula propuesta es que no habrá diferencias estadísticamente significativas en las propiedades adhesivas y de ángulo de contacto, entre los materiales de cada categoría, ni entre los tratamientos de superficie empleados.

METODOLOGÍA

Se utilizaron cuatro materiales, 2 materiales cerámicos vítreos CAD/CAM, uno del tipo cerámica reforzada por disilicato de litio (E.max CAD, Ivoclar Vivadent) y otro del tipo cerámica de silicato-fosfato de litio reforzado por zirconia (Suprinity, VITA Zahnfabrik) y dos materiales resinosos CAD/CAM: una resina compuesta prepolimerizada en bloque con alto contenido de relleno nanocerámico llamada por el fabricante nanocerámica (LAVA Ultimate, 3M ESPE) y una resina compuesta prepolimerizada en bloque nanoparticulada (Crios Brilliant, Coltène/Whaledent AG). De cada material se fabricó placas (2x4x6mm) para ser tratadas con diferentes protocolos de tratamiento de superficie.

Los grupos experimentales se confeccionaron de acuerdo con los siguientes tratamientos de superficie, que se efectuaron en los materiales cerámicos (n=15): 1. Sin tratamiento-control negativo (C); 2. Tratamiento con ácido fluorhídrico al 5% por 20 segundos (5HF20); 3. Tratamiento con ácido fluorhídrico al 5% por 60 segundos (5HF60); 4. Tratamiento con ácido fluorhídrico al 10% por 20 segundos (10HF20); 5. Tratamiento con ácido fluorhídrico al 10% por 60 segundos (10HF60). Para los materiales resinosos (n=15): 1. Sin tratamiento-control negativo (C); 2. Arenado con partículas de 50 μ m de óxido de aluminio por 10 segundos (A), 3. Sin Arenado con adhesivo universal (Scotchbond Universal 3M ESPE, MN, USA) (SA+SB); 4. Arenado con partículas de 50 μ m de óxido de aluminio por 10 segundos con adhesivo universal (Single Bond Universal 3M ESPE) (A+SB); 5. Sin Arenado



con una solución adhesiva resinosa libre de HEMA no simplificado (Heliobond Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein) (SA+He); 6. Arenado con partículas de 50 μm de óxido de aluminio por 10 segundos con el adhesivo no simplificado (A+He). Todas las muestras fueron lavadas en baño ultrasónico por 5 minutos. Inmediatamente después de tratados, se reservaron algunos especímenes ($n=3$) para luego analizar la morfología de superficie en cada tratamiento. Posteriormente, para la realización de la prueba de resistencia adhesiva entre los materiales y el agente cementante resinoso, se utilizaron muestras de cada grupo ($n=15$) en las cuales, con ayuda de un molde, se construyeron dos cilindros de cemento resinoso (SoloCem Coltene) para las cerámicas y de resina fluída (3M Filtek Z350 XT) para las resinas de (1mm de diámetro) por placa y se fotopolimerizó, según recomendación del fabricante, con una unidad fotoactivadora LED (LED B, Woodpecker; 1000 mW/cm^2). Después de 24 horas de almacenamiento en seco a 37°C y en el caso de las resinas, luego de un almacenamiento adicional de 48 horas en agua destilada, se procedió a realizar la prueba de microcizalla con la ayuda de un alambre metálico de 0.2mm en una máquina universal (Electropuls E3000, Instron, MA, USA) para ensayos mecánicos. Seguidamente se retomaron los especímenes reservados para este fin ($n=3$) y fueron analizados con la ayuda de un microscopio electrónico de barrido (MEB) JSM 5000, JEOL, Tokyo, Japan, para observar su morfología de superficie en cada tratamiento. Posteriormente, muestras de cada grupo ($n=5$) fueron sometidas a la prueba que evaluó su ángulo de contacto/energía libre de superficie con la ayuda de un goniómetro. Luego, a todos los grupos de tratamientos en las cerámicas, se les aplicó silano y el sistema adhesivo (adhesivo universal (SB) o Helibond (HB)) a las resinas para simular el procedimiento clínico, y se volvió a registrar su ángulo de contacto/energía de superficie. Los valores de energía de superficie y resistencia adhesiva obtenidos fueron tratados estadísticamente (Minitab 18, MA, USA) con las pruebas de ANOVA, Kruskal-Wallis y Tukey ($p<0.05$).



RESULTADOS

Resistencia adhesiva

Los datos de resistencia adhesiva de los materiales cerámicos fueron sometidos al análisis pre-estadístico de comprobación de los supuestos para aplicar análisis paramétricos. Al ser negativa la normalidad ($p < 0.0005$), se procede a aplicar la transformación de Box-Cox con el lambda óptimo ($\lambda = 0.205263$), con la cual ya se obtienen positivas las pruebas de normalidad (Anderson-Darling, $p = 0.679$) y homogeneidad de varianzas (Bartlett, $p = 0.053$). El análisis de la varianza (ANOVA) de 2 factores (Material vs. Protocolo de grabado) reveló que ambos factores fueron estadísticamente significativos ($p < 0.0001$), sin embargo, la interacción entre ambos factores no lo fue ($p = 0.364$) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis de la varianza de los datos de resistencia adhesiva de los materiales cerámicos.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Material	1	2,3127	2,31268	96,95	0,000
Grupo	4	1,1190	0,27975	11,73	0,000
Material*Grupo	4	0,1041	0,02602	1,09	0,364
Error	131	3,1248	0,02385		
Total	140	6,4748			

El test de Tukey de comparación múltiple reveló que los valores de la cerámica reforzada con silicato de litio y zirconia fueron significativamente mayores que los presentados por la cerámica reforzada con disilicato de litio ($p < 0.05$) (Tabla 2). En cuanto a los protocolos adhesivos, se observó que el grupo HF10%20s obtuvo los resultados mayores, sin embargo, el grupo HF5%20s no fue significativamente diferente del primero, ni se observaron



diferencias estadísticas de este segundo con los grupos HF5% 60s y HF10% 60s. El grupo que presentó los valores de resistencia adhesiva más bajos fue el grupo C (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio, desviación estándar (paréntesis) y fallas “pre-test” (ptf) relativos a la resistencia adhesiva (MPa) por microcizalla entre los materiales cerámicos y un cemento resinoso.

Protocolo/Material	DL	SLZ	Tukey (p<0.05)- Protocolo
C	4.45 (2.54) ptf:3	11.20 (5.49) ptf:1	8.09 (5.50) C
	11.24 (6.59)		
HF5% 20s	ptf:0	17.30 (3.09) ptf:0	14.27 (5.92) AB
HF5% 60S	8.07 (3.10) ptf:0	15.99 (7.99) ptf:1	11.89 (7.12) B
		25.19 (11.37)	
HF10% 20s	9.62 (4.29) ptf:0	ptf:2	16.84 (11.32) A
HF10% 60s	7.69 (4.34) ptf:2	15.16 (4.90) ptf:0	11.69 (5.92) B
Tukey (p<0.05)-Material	8.39 (4.87) B	16.83 (8.15) A	

Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas (p<0.05).

DL: disilicato de litio, SLZ: silicato de litio reforzado con zirconia, C: control, HF: ácido fluorhídrico, ptf: “pre-test”.

Los datos de resistencia adhesiva de los materiales resinosos fueron también sometidos al análisis pre-estadístico de comprobación de los supuestos para aplicar análisis paramétricos. Al ser negativa la normalidad (p<0.0005), se procede a aplicar la transformación de Box-Cox con el lambda óptimo ($\lambda=0.213466$), con la cual se obtienen ya positivas las pruebas de normalidad (Anderson-Darling, p=0.132) y homogeneidad de varianzas (Bartlett, p=0.428). El análisis de la varianza (ANOVA) de 3 factores (Material vs. Aplicación de arenado vs. Tipo de adhesivo) reveló que sólo los factores “Arenado” y “Adhesivo” fueron estadísticamente significativos (p<0.0001), al igual que la interacción entre ambos (p=0.035) (Tabla 1).



Tabla 3. Análisis de la varianza de los datos de resistencia adhesiva de los materiales resinosos.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Material	1	0,2152	0,21524	1,13	0,290
Arenado	1	1,3504	1,35045	7,08	0,009
Adhesivo	2	5,5314	2,76568	14,51	0,000
Material*Arenado	1	0,2241	0,22405	1,18	0,281
Material*Adhesivo	2	0,2955	0,14773	0,77	0,463
Arenado*Adhesivo	2	1,3144	0,65721	3,45	0,035
Material*Arenado*Adhesivo	2	0,1893	0,09465	0,50	0,610
Error	114	21,7346	0,19065		
Total	125	31,4889			

El test de Tukey de comparación múltiple aplicado a los factores e interacción significativos, reveló que los grupos que recibieron arenado (A) presentaron mayores valores de resistencia adhesiva que los no arenados (C) ($p < 0.05$). También se observó que los grupos tratados con sistemas adhesivos (SB y HB) obtuvieron resultados mayores que los no tratados con adhesivo (N), sin importar el adhesivo aplicado ($p < 0.05$). Cuando se analizó la interacción entre los factores significativos (Arenado vs. Adhesivo), se expuso que los grupos arenados y tratados con adhesivo universal (AU) obtuvieron los valores mayores, sin embargo, sin mostrar diferencia estadísticamente significativa con los grupos tratados con el adhesivo Heliobond (CH y AH). Estos últimos (H), a su vez, no mostraron diferencia significativa con los grupos tratados solamente con adhesivo universal (CU), ni con el grupo que recibió únicamente arenado sin adhesivo (AN). El grupo que obtuvo los valores más bajos de



resistencia adhesiva fue el que no recibió ningún tratamiento (control negativo- CN), sin embargo, éste no fue estadísticamente diferente de los grupos CU y AN (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio, desviación estándar (paréntesis) y fallas “pre-test” (ptf) relativos a la resistencia adhesiva (MPa) por microcizalla entre los materiales resinoso y una resina fluida.

Material *	Adhesivo	Arenado		Tukey "Adhesivo" (p<0.05)
		C	A	
Lava		2.92 (1.46) ptf:9	3.93 (1.63) ptf:9	
Crios	N	3.58 (1.32) ptf:4	4.80 (1.43) ptf:0	4.01 (1.55) B
**		3.35 (1.37) c **	4.56 (1.50) bc **	
Lava		5.81 (1.28) ptf:10	6.74 (1.95) ptf:5	
Crios	HB	7.66 (4.29) ptf:5	5.45 (2.01) ptf:5	6.50 (2.82) A
**		7.05 (3.62) ab **	6.09 (2.04) ab **	
Lava		4.85 (2.88) ptf:3	7.30 (2.69) ptf:0	
Crios	SB	5.09 (1.96) ptf:4	7.21 (3.04) ptf:0	6.26 (2.87) A
**		4.96 (2.43) bc **	7.25 (2.82) a **	
Tukey "Arenado" (p<0.05)		5.03 (2.90) B	6.13 (2.52) A	

Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas (p<0.05). Las letras mayúsculas comparan de forma separada el factor “Adhesivo” y el factor “Arenado”, mientras que las minúsculas (**) comparan la interacción “Adhesivo*Arenado” entre sus niveles combinados.

N: sin adhesivo, HB: heliobond, SB: Single bond (adhesivo universal), C: control, A: arenado, ptf: “pre-test”.



Morfología del tratamiento de superficie

Silicato de litio reforzado con zirconia

Con el análisis del microscopio electrónico de barrido, se observa que el grupo control (lija #600) tiene una superficie mucho más irregular si se compara con las demás, debido a las marcas lineales aparentemente producto del papel de lija. Las que fueron tratadas con HF 5% con 20s y 60s, se observa una superficie más regular comparada con HF 10%, sin embargo, en HF5% 60s, se observan grietas en apariencia con mayor profundidad. En HF 10% 60s, se observa mayor irregularidad en la superficie, pues se hace más evidente la exposición de la fase cristalina, al perder la continuidad la fase vítrea que la recubría y que es más evidente en los grupos tratados con HF 5%. En el caso de la cerámica disilicato de litio es mucho más notoria la exposición de los cristales en general, pues ya desde los tratamientos con HF5% se observa menos continuidad de la fase vítrea, exponiendo más estructuras cristalinas. Además, se puede observar espacios vacíos entre el trabeculado cristalino, principalmente en las superficies tratadas con HF 10%, sin embargo, en HF 10% por 20s estas zonas son más pequeñas con respecto a la de HF 10%60s. Con respecto al HF 5% 20s se observa una superficie más regular, sin embargo, se observan algunos poros menos profundos en apariencia, comparado con HF 5% por 60s. Estos resultados se pueden observar en la figura 2:

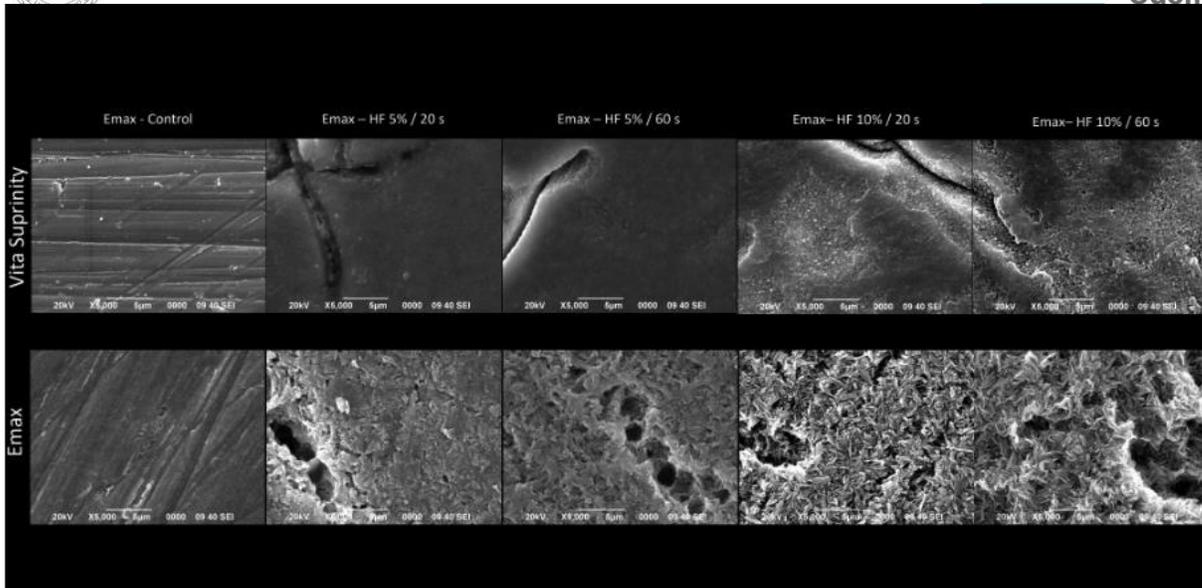


Figura 2. Morfología de superficie de la cerámica SLZ (Vita Suprinity) y DL (E.max CAD) tratada con los distintos protocolos de grabado a 5000X.

Abreviaturas: a) Control. b) HF: ácido fluorhídrico

En el caso de los materiales resinosos, en el análisis del MEB, se puede observar en ambos materiales una morfología típica de resinas compuestas, donde es evidente la matriz orgánica (zona continua más radiolúcida) y las partículas inorgánicas de relleno (ligeramente más radioopacas). También es notorio que ambos materiales resinosos; la nanocerámica (Lava Ultimate) y la resina compuesta (Brilliant Crios) se comportaron muy similar después del arenado, pues se pueden observar mayor cantidad de irregularidades en la superficie de ambos materiales, lo contrario a los grupos control, en los cuales se observa una superficie más lisa. Sin embargo, es interesante que las marcas del papel de lija de los grupos control, se hace más evidente en la resina nanoparticulada (Crios).

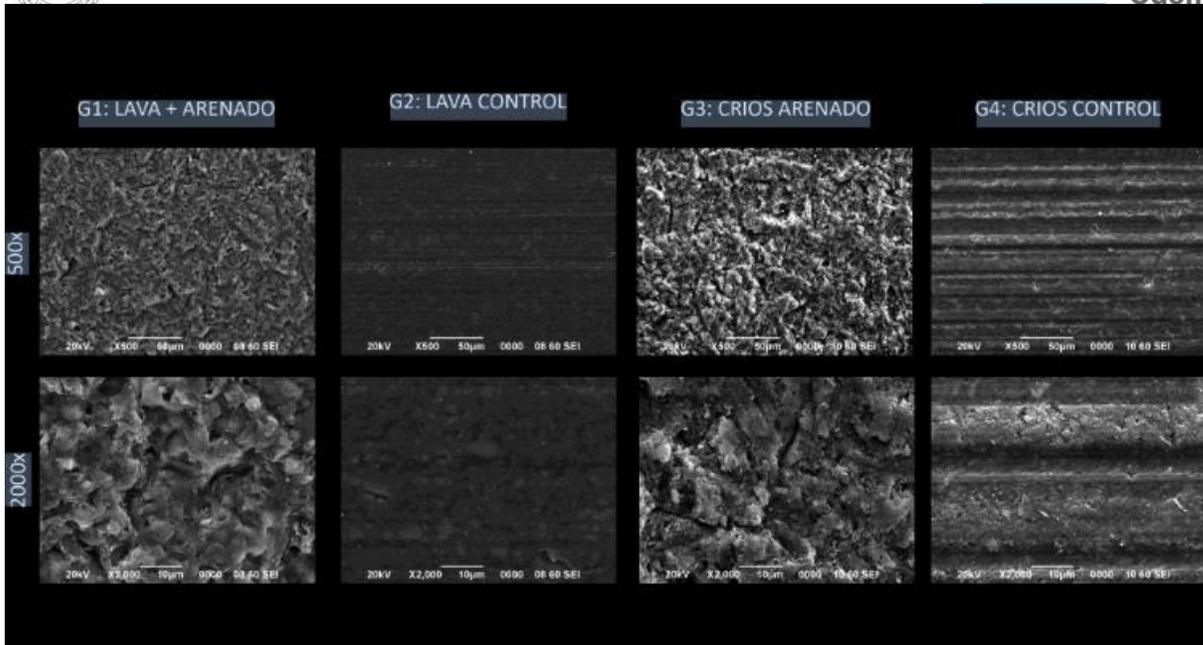


Figura 3. Morfología de superficie de los materiales resinosos: Lava Ultimate y Crios a 500x y 2000x. a) control, b) arenado.

Resultados Goniometría (ángulo de contacto)

Materiales cerámicos

Los resultados de ambos materiales cerámicos fueron analizados por aparte para esta variable, pues no era un objetivo comparar entre materiales dentro de esta propiedad.

En el caso del disilicato de litio (DL), tanto la normalidad (Anderson-Darling, $p=0.673$) como la homoscedasticidad (Levene, $p=0.110$) fueron positivas, por lo que se aplicó la prueba de ANOVA de 2 factores (Protocolo de grabado vs. Aplicación del silano). Ambos factores y su interacción fueron estadísticamente significativos ($p<0.0001$).



Tabla 5. Análisis de la varianza de los datos de goniometría para el disilicato de litio (Emax-DL).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	4	4755	1188,65	42,93	0,000
Silano	1	4245	4244,87	153,31	0,000
Tratamiento*Silano	4	2460	615,00	22,21	0,000
Error	46	1274	27,69		
Total	55	11238			

El test de Tukey de comparación múltiple aplicado a la triple interacción del DL, reveló que sólo los grupos tratados con HF5%, no mostraron diferencia estadísticamente significativa después de tratados con silano, respecto a los valores iniciales. Se observó que antes de ser tratados con silano, esos mismos grupos tratados con HF5%, mostraron los valores mayores (más hidrofóbicos) de forma significativa con respecto al grupo C y este último fue a su vez estadísticamente mayor que los grupos tratados con HF10% (más hidrofílicos, mayor energía de superficie). Al comparar entre los grupos tratados con silano, se observó que las únicas diferencias significativas se presentaron entre los grupos tratados por 20s con HF y el grupo HF5%60s, sin existir ninguna otra diferencia significativa entre ningún grupo.

Tabla 6. Valores promedio y desviación estándar (paréntesis) de los valores de ángulo de contacto para el material disilicato de litio (Emax -DL).

Silano/Protocolo	Antes			Después		
C	43,87	(3,77)	Bb	63,74	(4,65)	ABa
HF5%20s	56,98	(10,42)	Aa	58,58	(3,31)	Ba
HF5%60s	66,14	(5,89)	Aa	69,95	(5,65)	Aa
HF10%20s	26,20	(1,40)	Cb	54,14	(2,87)	Ba
HF10%60s	28,15	(2,25)	Cb	63,94	(4,44)	ABa

Letras diferentes (Mayúsculas en línea, minúsculas en columna) representan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Abreviaturas: DL: disilicato de litio, C: control, HF: ácido fluorhídrico



En el caso del silicato de litio (SLZ), los datos no cumplieron con los requisitos para aplicarles análisis paramétricos, por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a cada factor de forma separada (Tratamiento y Aplicación de silano). Dicha prueba reveló que el factor tratamiento no resultó significativo ($p=0.787$), sin embargo, el factor silano sí ($p<0.0001$), lo que significa que fueron significativamente mayores los valores de ángulo de contacto de los grupos después de haber sido silanizados (Tabla 7).

Tabla 7. Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para los factores de estudio con los datos de ángulo de contacto del material silicato de litio reforzado con zirconio (Vita Suprinity-ZLS).

Factor	GL	Valor H	Valor p
Protocolo	4	1,72	0,787
Silano	1	32,40	0,000

Tabla 8. Mediana, valor mínimo y máximo de los datos de ángulo de contacto para el material silicato de litio reforzado con zirconio (Vita Suprinity-SLZ).

Silano/Protocolo	Antes			Después		
C	42,91	[31,33-	60,99]	65,95	[60,88	70,03]
HF5%20s	47,087	[32,44	74,877]	59,562	[55,93	61,853]
HF5%60s	41,222	[34,64	48,5833]	59,292	[56,78	62,016]
HF10%20s	37,142	[31,39	41,36]	67,075	[62,67	71,21]
HF10%60s	36,58	[28,697	54,457]	71,517	[66,117	75,86]
Kruskal-Wallis				B		
(Silano)	40,365	[28,69667	74,88]	63,6383	[55,93	75,86]
						A

Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos del factor silano. El factor protocolo, no resultó significativo.

Abreviaturas: SLZ: silicato de litio reforzado con zirconio, C: control, HF: ácido fluorhídrico.



Los resultados de ambos materiales resinosos también fueron analizados por aparte para esta variable, pues no era un objetivo comparar entre materiales dentro de esta propiedad.

En el caso de la resina compuesta convencional nanoparticulada CAD/CAM (Crios), tanto la normalidad (Anderson-Darling, $p=0.532$) como la homoscedasticidad (Levene, $p=0.097$) fueron positivas, por lo que se aplicó la prueba de ANOVA de 3 factores (Arenado vs. Tipo de adhesivo vs. Aplicación de adhesivo). El factor “Aplicación de adhesivo”, más las interacciones entre este factor y los otros dos, fueron estadísticamente significativos, además de la triple interacción ($p<0.0001$).

Tabla 9. Análisis de la varianza de los datos de goniometría para el material resinoso Crios (BC).

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Arenado	1	39,5	39,5	3,53	0,068
Tipo adhesivo	1	55,0	55,0	4,92	0,032
Adhesivo	1	16765,1	16765,1	1500,71	0,000
Arenado*Tipo adhesivo	1	59,1	59,1	5,29	0,027
Arenado*Adhesivo	1	521,6	521,6	46,69	0,000
Tipo adhesivo*Adhesivo	1	196,0	196,0	17,55	0,000
Arenado*Tipo adhesivo*Adhesivo	1	544,0	544,0	48,69	0,000
Error	40	446,9	11,2		
Total	47	18627,0			

El test de Tukey de comparación múltiple aplicado a la triple interacción de los datos del Crios, reveló que todos los grupos reportaron una diferencia estadística en su ángulo de contacto antes y después de aplicar el sistema adhesivo (sin importar el tipo de adhesivo), siendo menores (más hidrofílicos) los valores después de aplicado. No existió diferencia significativa entre los grupos arenados y no arenados, salvo para los grupos que recibieron la aplicación del adhesivo SB, donde el grupo arenado reflejó valores menores (más



hidrofílico) que el control. En cualquier otra comparación posible, no existió diferencia estadísticamente significativa (Tabla 10).

Tabla 10. Valores promedio y desviación estándar (paréntesis) de los valores de ángulo de contacto para el material resinoso Crios (BC).

Arenado	Tipo Adhesivo	Aplicación de adhesivo				
		Antes	Después			
Arenado	HB	85,23 (4,21)	A	52,03 (1,35)	B	
Control		85,78 (3,43)	A	52,30 (1,72)	B	
Arenado	SB	86,08 (2,14)	A	41,34 (1,63)	C	
Control		88,73 (2,48)	A	50,63 (6,46)	B	

Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).
HB: Helibond, SB: Single bond

En el caso de la resina compuesta con alto contenido de relleno nanocerámico (Lava), los datos no cumplieron con los requisitos para aplicarles análisis paramétricos, por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a cada factor de forma separada. Dicha prueba reveló que solamente el factor Aplicación del adhesivo, resultó estadísticamente significativo ($p < 0.0001$), siendo significativamente mayores (más hidrofóbicos) los valores de ángulo de contacto de los grupos antes de haber recibido el sistema adhesivo (Tabla 11).



Tabla 11. Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis para los factores de estudio con los datos de ángulo de contacto del material Lava (LAV).

Factor	GL	Valor H	Valor p
Arenado	1	0,38	0,536
Tipo de adhesivo	1	0,55	0,458
Aplicación de adhesivo	1	35,27	0,000

Tabla 12. Mediana, valor mínimo y máximo de los datos de ángulo de contacto para el material Lava (LAV).

Arenado	Tipo Adhesivo	Aplicación de adhesivo			
		Antes		Después	
Arenado	HB	92,77	[90,12- 98,35]	50,97	[49,59- 55,4]
Control		86,68	[83,56- 87,36]	50,89	[50,28- 52,62]
Arenado	SB	102,75	[81,47- 110,19]	46,22	[38,85- 52,19]
Control		83,65	[76,24- 91,13]	51,27	[47,2- 52,27]
Kruskal-Wallis (aplicación)		87,31	[76,24- 110,19] A	50,81	[38,85- 55,4] B

Letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas en el factor "Aplicación de adhesivo".

Abreviaturas: HB: Helibond, SB: Single bond



Figuras del ángulo de contacto

Se puede observar, de forma general (para comparaciones específicas, ver Tablas 6 y 8), una tendencia a que el ángulo de contacto aumenta en ambas cerámicas; DL y SLZ, al colocar silano en la superficie (excepto para los grupos DL tratados con HF5%, Tabla 6). Estos resultados se pueden observar en la figura 4 y 5.

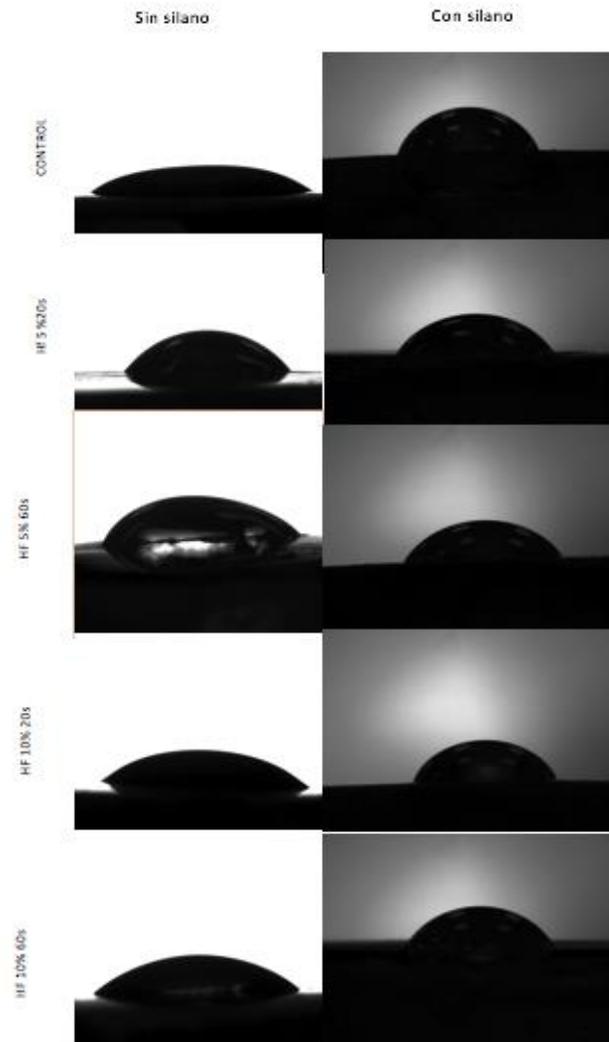


Figura 4. Imágenes del ángulo de contacto, registrados durante la prueba de goniometría en la cerámica de silicato de litio reforzada con zirconio (Vita Suprinity-SLZ) antes y después de la aplicación del silano.

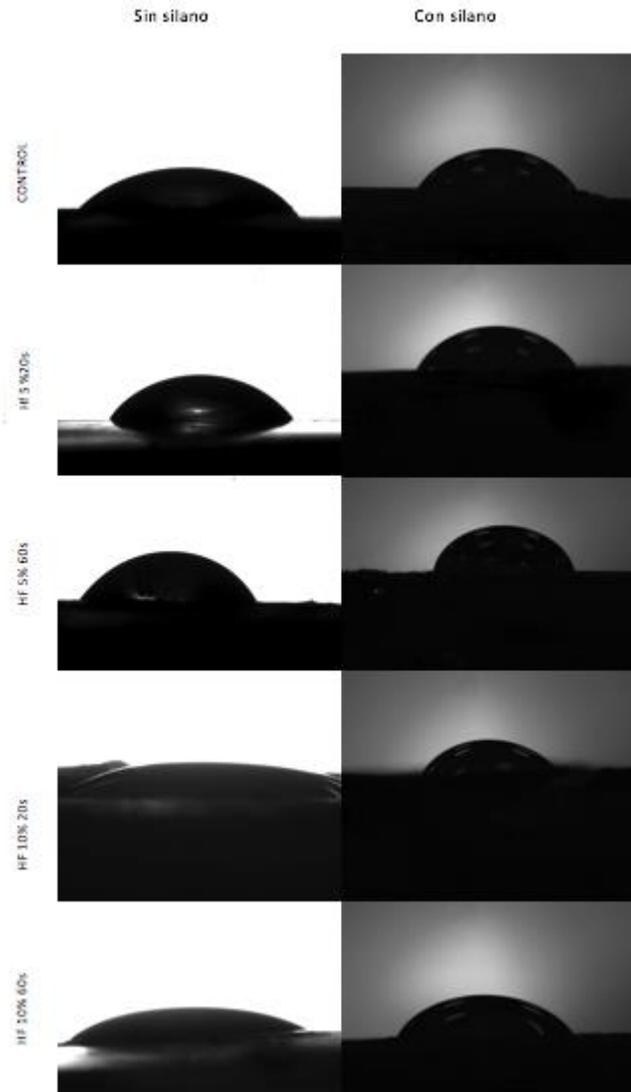


Figura 5. Imágenes del ángulo de contacto, registrados durante la prueba de goniometría en la cerámica disilicato de litio (E.max CAD-DL) antes y después de la aplicación del silano.

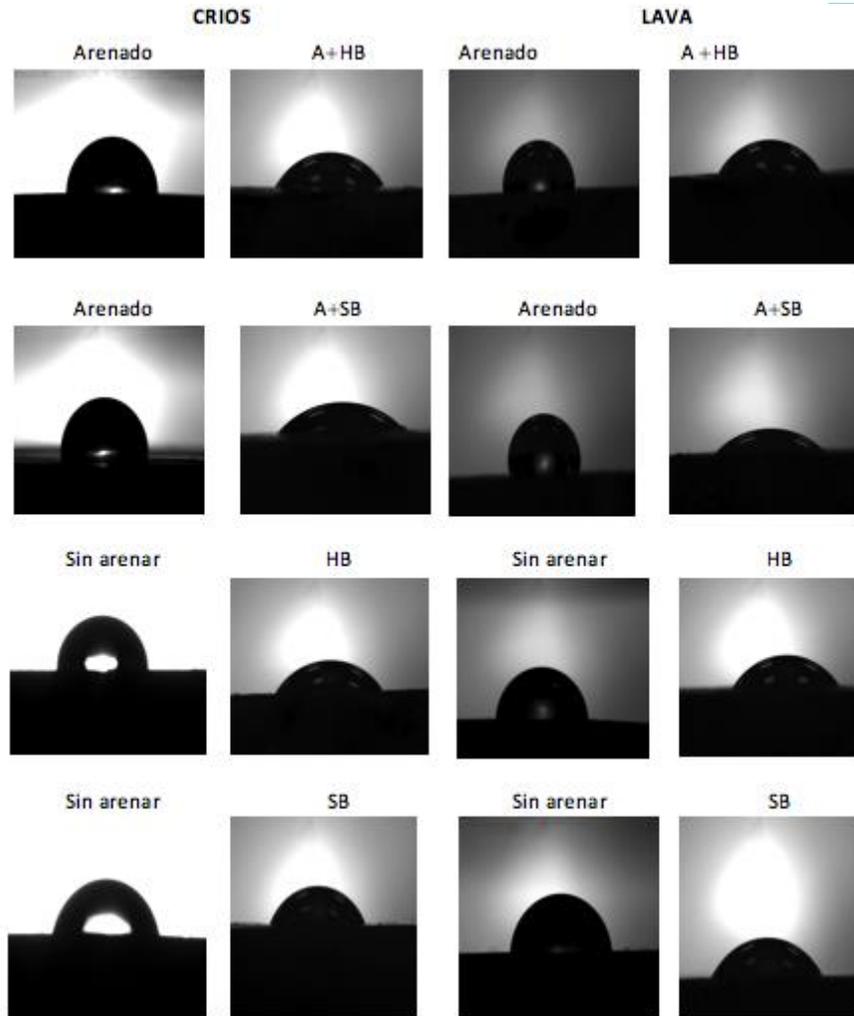


Figura 6. Imágenes del ángulo de contacto, registrados durante la prueba de goniometría en los materiales resinosos: CRIOS y la nanocerámica LAVA, antes y después de arenar, y colocar los sistemas adhesivos (HB y SB) .

HB: Heliobond, SB: Single Bond.



DISCUSIÓN

Este estudio in vitro analizó la influencia de diferentes tratamientos de superficie sobre la resistencia adhesiva entre agentes cementantes resinosos y materiales CAD/CAM. La disponibilidad de nuevos materiales en el uso de CAD/CAM en la odontología produce más opciones para el uso clínico, pero al mismo tiempo crea una demora en la disponibilidad de la información, relativa a su comportamiento durante el uso clínico que correlacione las diferentes propiedades del material con su capacidad adhesiva entre otros aspectos (3).

El análisis de ANOVA reveló que para los materiales cerámicos tanto el material como el tratamiento de superficie tiene un efecto estadísticamente significativo en la adhesión ($p < 0.05$) y para los materiales resinosos solo los tratamientos de superficie tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$). Los resultados analizados numéricamente mostraron que la recomendación del fabricante sobre el tratamiento de superficie concedió una mayor resistencia en los cuatro materiales usados en este presente estudio. Estos resultados concuerdan con estudios previos y recomendaciones (30). Por lo tanto, la hipótesis nula es parcialmente rechazada.

Con base en los resultados, la combinación material cerámico para CAD/CAM y protocolo de tratamiento de superficie que mostró una mayor resistencia a la adhesión en general fue el silicato de litio reforzado con zirconia (SLZ) con los protocolos de adhesión de HF10%20s y HF5%20s. Entre los tipos de cerámicas usadas, SLZ destaca mejores propiedades adhesivas en comparación con el disilicato de litio (DL). Este fenómeno puede relacionarse con la microestructura del material compuesta por cristales tipo aguja cortos y otros de tipo esférico o grano fino que, al darse la reacción entre el ácido fluorhídrico y la matriz vítrea, se exponen resultando una superficie suficientemente rugosa que favorece la retención micromecánica del agente cementante. En consideración a la literatura, un estudio comparativo entre SLZ y DL reveló una mayor resistencia adhesiva en el silicato de litio, lo que concuerda con el presente estudio, pero en cuanto al porcentaje del ácido hubo una variación, ya que los resultados para SLZ fueron superiores en el HF4.9% que en el HF9.5% (38).



Se ha evidenciado que los datos disponibles en la literatura sobre el efecto de la concentración de HF en las cerámicas a base de silicatos de litio no son concluyentes, en presunción por los distintos diseños de estudio donde las cerámicas vítreas pueden diferenciar las condiciones de unión y esto conlleva a que la concentración adecuada del grabado aún no está clara. (37).

De igual manera, los resultados de este presente estudio revelaron que un porcentaje de HF5% y 10% por 20s no tuvieron diferencia significativa ($p>0.05$) por lo cual se debe tomar en consideración los estudios que defienden el uso de porcentajes bajos (i.e, 5%) para evitar la destrucción progresiva de la microestructura del material (38). Además, los resultados numéricos (Tabla 2) para el disilicato de litio (DL) evidenciaron que el grabado a HF5%20s tuvieron mejor resistencia a la adhesión, este suceso se puede explicar con la evidencia de un análisis de imágenes SEM entre la interfase entre un cemento resinoso y el material de disilicato de litio tratado con HF al 5% y 7.5%, donde en otras concentraciones (2.5%, 10%, 15%) indicaron una interacción incompleta con vacíos de cemento en dicha interfase (ver Anexo) (34).

Por otra parte, en los materiales resinosos solo el tratamiento de superficie fue estadísticamente significativo (dividido en 2 factores: arenado vs adhesivo), igual que la interacción entre ambos ($p<0.05$). En este caso se utilizó el arenado como factor de estudio, pues la literatura muestra que es uno de los tratamientos de superficie sugeridos para lograr microretenciones en materiales resinosos, mientras que el HF que se utiliza en las cerámicas vítreas, pues el arenado ha demostrado ser poco efectivo para mejorar la resistencia adhesiva de estos materiales (39). Consistente con este estudio, varias investigaciones han demostrado que el tratamiento con arenado fue más efectivo que sin arenado y es de suma importancia su uso como pretratamiento para este tipo de materiales (38, 39). Acerca del uso de adhesivos, hubo una diferencia estadísticamente significativa, pues su uso en materiales resinosos favoreció una mayor resistencia adhesiva sin discrepancia en el tipo de adhesivo implementado. Resultados han demostrado que el uso de un agente adhesivo contribuye a la adhesión entre materiales resinosos CAD/CAM y cemento resinoso (30).

Para efectos de este estudio se usaron dos tipos de adhesivos, un adhesivo universal (SB) (octava generación de la antigua clasificación) y un adhesivo resinoso no simplificado libre



de HEMA (HB) (tercer paso de un adhesivo de cuarta generación según la clasificación antigua). El SB combina un “primer” autograbante (conteniendo 10-MDP) con los componentes del adhesivo (monómeros dimetacrilatos) creando una opción simplificada y clínicamente rápida para generar adhesión dental (y con otros substratos) con todas las técnicas adhesivas. Sin embargo, se han discutido algunas de sus deficiencias, como el contenido de HEMA y monómeros hidrófilos (incluido el 10-MDP), que al ser hidrofílicos promueven la absorción de agua, entre otras (40). En el caso del presente estudio este adhesivo fue utilizado como un agente de unión intermedio entre el material resinoso indirecto y el cemento resinoso pues se ha sugerido que esto puede mejorar la adhesión del sistema en cuestión, por lo que era deseable evaluar si su composición compuesta afectaba de alguna manera esta función.

El sistema de grabado total de 3 pasos (adhesivo de cuarta generación) incluye el uso de frascos separados con el acondicionador ácido, “primer” y adhesivo resinoso (sellador). El HB constituye el último paso de la anterior secuencia, el cual contiene monómeros hidrofóbicos en su mayoría que al unirse con los previamente infiltrados en los túbulos dentinarios produce la formación de prolongaciones de resina creando un entrelazado micromecánico impermeable (40). Al ser el HB, el último paso de la anterior secuencia (adhesivo o sellador), se espera que, si se utiliza como intermediario entre el material resinoso indirecto y el agente cementante también resinoso, pueda generar una mejora en la adhesión de este sistema y proteger de forma más impermeable esa unión. En el presente estudio no se manifestó una diferencia estadística entre el uso de un adhesivo universal y de un adhesivo resinoso como el HB. Esto puede deberse al corto tiempo de exposición a un ambiente húmedo, pues el envejecimiento artificial usado en esta investigación fue un almacenaje en agua por 72hrs simulando el ambiente acuoso de la cavidad oral al que el material puede someterse en una situación clínica real. Al tener más solventes y monómeros hidrofílicos, el adhesivo universal tendería a absorber más agua, lo cual puede incrementar el riesgo de ocurrencia de una falla adhesiva (40). Actualmente, no hay un procedimiento estandarizado para el envejecimiento artificial de cementos resinosos y la generalidad de los estudios utilizan 6 meses de almacenamiento en agua, que, por limitantes de tiempo, no se pudo implementar en el presente estudio (30). Nuevas investigaciones aumentando el tiempo de almacenamiento en agua son necesarios.



Los resultados más favorables de los materiales resinosos fueron obtenidos en la interacción entre el arenado y el adhesivo universal (SB). Esto ha sido reportado en la literatura por el uso de arenado, que permite además de crear una superficie rugosa para la retención micromecánica, remover la posible capa de sedimento producto del maquinado de tal manera preparando la superficie para el uso de adhesivo que permite a los monómeros penetrar la matriz y polimerizar, de esa manera creando una alta retención adhesiva y una reacción de afinidad química con el cemento (41). La falta del uso de estos tratamientos de superficie ya sea arenado o adhesivo, produjo bajos resultados en la resistencia adhesiva.

Además, se realizó un estudio de goniometría para los materiales cerámicos y resinosos. En el caso de los materiales cerámicos, el análisis de ANOVA en el DL dio como resultado que ambos factores protocolo de grabado y aplicación del silano, así como su interacción fueron estadísticamente significativos ($p < 0.0001$). Los tratamientos con HF al 5% sin aplicación de silano fueron los que obtuvieron mayores ángulos de contacto comparado a los otros tratamientos, lo cual coincide con lo reportado por la literatura, ya que la aplicación de HF en menor porcentaje causa menos rugosidades en la superficie del disilicato de litio, creando de esa manera que su superficie sea más hidrofóbica si se compara con la superficie de la HF al 10% , donde la aplicación de una concentración de HF más alta dio como resultado ángulos de contacto más pequeños y, por lo tanto, un aumento de la energía libre de superficie. (42) Deben preferirse concentraciones más bajas de HF por razones de seguridad (43), pero en la aplicación clínica, la concentración de ácido es administrada por el fabricante por lo cual no se puede variar, sin embargo, clínicamente el tiempo de grabado puede ajustarse. Por lo tanto, la duración del grabado puede controlarse para lograr un grado particular de alteración de la superficie.

Al comparar entre los grupos tratados con silano, se observó que las únicas diferencias significativas se presentaron entre los grupos tratados por 20s con HF y el grupo HF5%60s. Donde los grupos tratados con HF por 20 segundos dieron como resultado ángulos de contacto menores, comparados al HF al 5% por 60s. Esto debido a que el silano forma unión química con la superficie cerámica por medio de interacción de los hidróxidos del silano hidrolizado (silanol) con los de la cerámica y se da la reacción de condensación y se forma el enlace covalente. Esta unión le genera una capa de metacrilato de silano (hidrofóbico) a la



cerámica, y por ende la vuelve más hidrofóbica (44, 45) Creando así mayor interacción del silano en las superficies que fueron tratadas por más tiempo con el ácido.

Contrario al DL, SLZ no tuvo diferencia significativa en el factor de protocolo de grabado, sin embargo, el factor silano sí fue estadísticamente significativo ($p < 0.0001$), lo que significa que fueron significativamente mayores los valores de ángulo de contacto de los grupos después de haber sido silanizados. Los resultados de este estudio respaldan la evidencia de otras investigaciones, ya que todas las vitrocerámicas, incluso para las cerámicas de silicato de litio reforzadas con zirconia, cuando se les aplica HF dan como resultado ángulos de contacto más pequeños y, por lo tanto, un aumento de la energía libre de superficie si se comparan con los ángulos de contacto más altos posterior a la aplicación de silano (46). Esto sucede debido que al aplicar el silano se produce una hidrofobización de la superficie, causando que el ángulo de contacto sea mayor. Ya que el silano posee grupos metacrilatos (resina), lo cual lo hace hidrofóbico, mejorando su estabilidad hidrolítica frente a la degradación. (26)

En el caso de los materiales resinosos, ambos materiales (BC y LAV) mostraron valores de ángulo de contacto menores luego de la colocación del adhesivo. Esto puede explicarse por la hidrofilia de la superficie de la resina después del tratamiento con adhesivo. La disminución del ángulo de contacto es una consecuencia de la presencia componentes hidrofílicos en el adhesivo. Los adhesivos contemporáneos contienen mezclas de monómeros de resina hidrofílicos, como metacrilato de dos hidroxietilo (HEMA), en diluyentes y solventes orgánicos, generalmente, agua, etanol o acetona. (47)

Como limitantes de este estudio es importante mencionar la falta de experticia de los operadores, los cuales participaron en la fabricación de las muestras desarrolladas, sin llevar un proceso de homogenización de sus procedimientos previos al definitivo (piloto). Esto pudo afectar directamente los resultados de la resistencia adhesiva, donde se refleja que los valores resultantes para los materiales resinosos, fueron menores a los de estudios previos. Además, cabe recalcar que la fabricación de cilindros de cemento (cerámicas) y resina fluida (resinas) fueron de 3mm, lo que pudo dificultar su polimerización completa, causando así menores resultados numéricos. Sin embargo, al pasar todas las muestras por estos mismos errores, dieron resultados estadísticamente significativos y proporcional y estadísticamente



consistentes con estudios previos. Se sugieren investigaciones futuras que incluyan un protocolo de envejecimiento mayor al utilizado aquí, así como la validación de estos resultados in vitro, con estudios clínicos con largos periodos de seguimiento.

Aunque este estudio fue realizado in vitro, se pueden destacar sus implicaciones clínicas de forma indirecta, ya que es necesario conocer los correctos tratamientos de superficie que garanticen una adhesión prolongada para las restauraciones de distintos materiales CAD/CAM utilizados en la actualidad.



CONCLUSIONES

Con base en los resultados presentados y dentro de las limitaciones de este estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los grupos del silicato de litio reforzado con zirconia mostraron mejor rendimiento adhesivo que el disilicato de litio.
- Los grupos de los materiales cerámicos CAD/CAM tratados con ácido fluorhídrico al 5% y al 10% por 20s fueron los que evidenciaron mejor resistencia adhesiva de forma general.
- Ambos materiales resinosos CAD/CAM mostraron un rendimiento adhesivo similar.
- Los grupos en los materiales resinosos CAD/CAM que fueron tratados con arenado y adhesivo mostraron mejor rendimiento adhesivo.
- Ambos sistemas adhesivos (adhesivo universal y adhesivo no simplificado (Heliobond)) mostraron el mismo efecto benéfico al promover la adhesión entre los materiales resinosos CAD/CAM y el agente cementante resinoso.
- En general, las cerámicas vítreas mostraron superficies más hidrofílicas al ser tratadas con HF al 10%, y más hidrofóbicas luego de la aplicación del silano.
- Diferentes protocolos de grabado con HF producen diferencias en la hidrofiliidad de las superficies cerámicas, sin embargo, la mayoría se equiparan luego de la aplicación del silano.
- En el caso de las resinas compuestas la aplicación de un sistema adhesivo produjo superficies más hidrofílicas, sin embargo, esto no evitó el efecto benéfico que éste produjo en la adhesión de estos materiales.



REFERENCIAS

1. Griggs JA. Recent Advances in Materials for All-Ceramic Restorations. 2007;51:713–27.
2. Naert I. A RTICLE A NALYSIS & E VALUATION Computer-Aided Designed / Computer-Assisted Manufactured (CAD / CAM) All-Ceramic Crowns Appear to Perform Better than All-Composite Resin Crowns Following the First 3 Years of Placement. J Evid Based Dent Pract [Internet]. 2011;11(4):203–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jebdp.2011.09.015>
3. Gracis S, Thompson V, Ferencz J, Silva N, Bonfante E. A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. Int J Prosthodont. 2016;28(3):227–35.
4. Helvey G. Provide the Optimum in Strength and Esthetics. Insid Dent. 2013; (November).
5. Silva, Lucas Hian; LIMA, Erick de; Miranda, Ranulfo, Benedito de Paula; FAVERO, Stéphanie Soares; LOHBAUER, Ulrich; CESAR PF. Critical review Dental Materials/Dentistry Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. Braz oral Rest [Internet]. 2017;31:133–46. Available from: <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0058>
6. Kurbad A. CASO CLÍNICO La combinación de las tecnologías CAD / CAM y de prensado para la confección de restauraciones de cerámica sin metal CASO CLÍNICO. 2009;599–609.
7. Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. Dent Mater [Internet]. 2017;33(1):84–98. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.10.009>
8. Wendler M, Belli R, Petschelt A, Mevec D, Harrer W, Lube T, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 2: Flexural strength testing. Dent Mater [Internet]. 2017;33(1):99–109. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.10.008>



9. Kilinc H, Turgut S. Optical behaviors of esthetic CAD-CAM restorations after different surface finishing and polishing procedures and UV aging: An in vitro study. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2018;120(1):107–13. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.09.019>
10. Dolev E, Bitterman Y, Meirowitz A. Comparison of marginal fit between CAD-CAM and hot-press lithium disilicate crowns. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2019;121(1):124–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.03.035>
11. Goujat A, Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Pradelle N, Seux D, et al. Mechanical properties and internal fit of 4 CAD-CAM block materials. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2018;119(3):384–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.03.001>
12. Elsaka SE, Elnaghy AM. Mechanical properties of zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramic. *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(7):908–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.03.013>
13. Wai R, Li K, Uk M, Ed M, Chow TW, Fadm F, et al. ScienceDirect Ceramic dental biomaterials and CAD / CAM technology: State of the art. *J Prosthodont Res* [Internet]. 2014;58(4):208–16. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpor.2014.07.003>
14. Ramos NDC, Campos TMB, Paz ISD La, MacHado JPB, Bottino MA, Cesar PF, et al. Microstructure characterization and SCG of newly engineered dental ceramics. *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(7):870–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.03.018>
15. Ludovichetti FS, Trindade Z, Werner A, Kleverlaan CJ, Fonseca RG. Wear resistance and abrasiveness of CAD-CAM monolithic materials. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2014;120(2):318.e1-318.e8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.05.011>
16. Tinastepe N, Turkes E, Kazazoglu E. Comparative approach to analyse the effects of different surface treatments on CAD / CAM resin nanoceramics – resin composite repair bond strength. 2018;2818(January). Available from:



<https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1392260>

17. Hampe R, Theelke B, Lu N, Eichberger M, Stawarczyk B. Fracture Toughness Analysis of Ceramic and Resin Composite CAD / CAM Material.
18. Producto G. BLOQUE DE COMPOSITE REFORZADO PARA RESTAURACIONES PERMANENTES BRILLIANT Crios.
19. Restorative CAD/CAM. Technical Product Profile.
20. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(11):e275–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.08.222>
21. Murillo-Gómez F, Palma-Dibb RG, De Goes MF. Effect of acid etching on tridimensional microstructure of etchable CAD/CAM materials. *Dent Mater* [Internet]. 2018;34(6):944–55. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.03.013>
22. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: A review of the literature. *J Prosthet Dent*. 2003;89(3):268–74.
23. Wong ACH, Tian T, Tsoi JKH, Burrow MF, Matinlinna JP. Aspects of adhesion tests on resin–glass ceramic bonding. *Dent Mater* [Internet]. 2017;33(9):1045–55. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2017.06.013>
24. Murillo-Gómez F, Wanderley RB, De Goes MF. Impact of silane-containing universal adhesive on the biaxial flexural strength of a resin cement/glass-ceramic system. *Oper Dent*. 2019;44(2):200–9.
25. Naves LZ, Soares CJ, Moraes RR, Gonçalves LS, Sinhoreti MAC, Correr-Sobrinho L. Surface/interface morphology and bond strength to glass ceramic etched for different periods. *Oper Dent*. 2010;35(4):420–7.
26. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dent Mater* [Internet]. 2018;34(1):13–28. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.09.002>



27. Bruzi G, Carvalho AO, Giannini M, Maia HP, Magne P. Post-etching cleaning influences the resin shear bond strength to CAD/CAM lithium-disilicate ceramics. *Appl Adhes Sci.* 2017;5(1):1–9.
28. Üstün Ö, Büyükhatipoğlu IK, Seçilmiş A. Shear Bond Strength of Repair Systems to New CAD/CAM Restorative Materials. *J Prosthodont.* 2018;27(8):748–54.
29. Sismanoglu S, Yildirim-bilmez Z, Erten-taysi A. Influence of different surface treatments and universal adhesives on the repair of CAD-CAM composite resins : An in vitro study. 2020;1–9.
30. Emsermann I, Eggmann F, Krastl G, Weiger R, Amato J. Influence of pretreatment methods on the adhesion of composite and polymer infiltrated ceramic cad-cam blocks. *J Adhes Dent.* 2019;21(5):433–43.
31. Tian T, Tsoi JKH, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater [Internet].* 2014;30(7):e147–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2014.01.017>
32. Murillo-Gómez F, Rueggeberg FA, De Goes MF. Short- and long-term bond strength between resin cement and glass-ceramic using a silane-containing universal adhesive. *Oper Dent.* 2017;42(5):514–25.
33. Al-Thagafi R, Al-Zordk W, Saker S. Influence of surface conditioning protocols on reparability of CAD/CAM zirconia-reinforced lithium silicate ceramic. *J Adhes Dent.* 2016;18(2):135–41.
34. Sundfeld Neto D, Naves LZ, Costa AR, Correr AB, Consani S, Borges GA, et al. The effect of hydrofluoric acid concentration on the bond strength and morphology of the surface and interface of glass ceramics to a resin cement. *Oper Dent.* 2015;40(5):470–9.
35. Kotz D, Cals JWL. Effective writing and publishing scientific papers, part V: results. *J Clin Epidemiol.* 2013;66(9):945.
36. Cals JWL, Kotz D. Effective writing and publishing scientific papers, part VI:



Discussion. *J Clin Epidemiol.* 2013;66(10):1064.

37. Barchetta N, Amaral M, Rodrigues F, Bottino M, Marques de Melo R. Strength of a Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramic: Acid-Etching Time and Resin Cement Application Effects. 2019;39:430–7.
38. Sorrentino R, Ruggiero G, Irene M, Mauro D, Breschi L, Leuci S, et al. Optical behaviors, surface treatment, adhesion, and clinical indications of zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS): A narrative review. *J Dent [Internet]*. 2021;103722. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103722>
39. Sismanoglu S, Yildirim-bilmez Z, Erten-taysi A. Influence of different surface treatments and universal adhesives on the repair of CAD-CAM composite resins: An in vitro study. 2020;1–9.
40. Van Meerbeek B, Yoshihara K, van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent.* 2020;22(1):7–34.
41. Reymus M. Bonding to new CAD / CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. 2018.
42. Strasser T, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Roughness, surface energy, and superficial damages of CAD/CAM materials after surface treatment. *Clin Oral Investig.* 2018;22(8):2787–97.
43. Ozcan M, Allahbeickaraghi A, Dundar M (2012) Possible hazardous effects of hydrofluoric acid and recommendations for treatment approach: a review. *Clin Oral Investig* 16(1):15–23.
44. Lung CYK, Matinlinna JP, Kukk E, Hägert T. Surface modification of zirconia by various chemical treatments. *Appl Surf Sci* 2010;257:1228–35.[72]
45. Ban S, Iwaya Y, Kono H, Sato H. Surface modification of titanium by etching in concentrated sulfuric acid. *Dent Mater* 2006;22:1115–20
46. Ramakrishnaiah R, Alkheraif AA, Divakar DD et al (2016) The effect of hydrofluoric



acid etching duration on the surface micromorphology, roughness, and wettability of dental ceramics. *Int J Mol Sci* 17(6).

47. Van Meerbeek B, Yoshihara K, van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent.* 2020;22(1):7–34.

ANEXOS

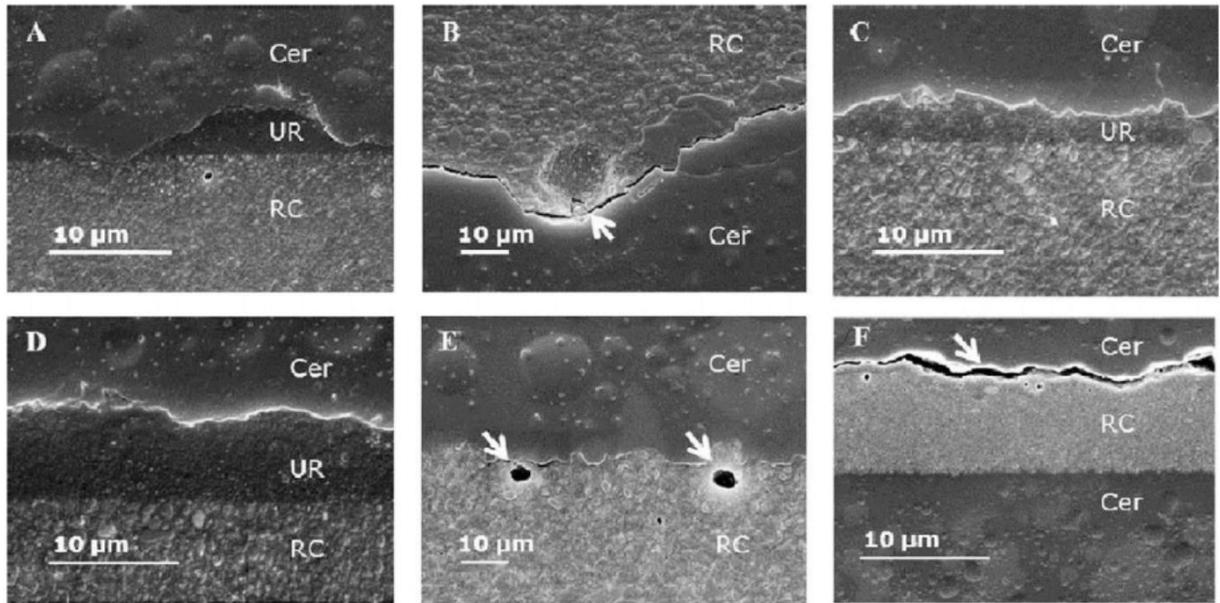


Figura 7. Imágenes resultantes del análisis de la interfaz de unión disilicato de litio (IPS e.max Press-DL) RC, cemento de resina; Cer, cerámica; UR, resina sin relleno; HF, ácido fluorhídrico. (A) HF 1%; (B) HF 2,5%; (C) HF 5%; (D) HF 7,5%; (E) HF 10%; (F) HF 15%. La imagen A muestra una interacción sin fallos entre la cerámica, la resina sin relleno y el cemento de resina. La flecha blanca en la imagen B indica una interacción incompleta entre la cerámica y el cemento de resina. La resina sin relleno pudo penetrar en la cerámica en las imágenes C y D. Las flechas blancas en las imágenes E y F indican fallos en la interfaz cemento de resina-cerámica, cuando no se aplicó la resina sin relleno. Fuente: Sundfeld Neto D, Naves LZ, Costa AR, Correr AB, Consani S, Borges GA, et al. The effect of hydrofluoric acid concentration on the bond strength and morphology of the surface and interface of glass ceramics to a resin cement. *Oper Dent.* 2015;40(5):470–9.